

# Tehnička dijagnoza stambene zgrade pogođene potresom

---

Horvat, Lana

Master's thesis / Diplomski rad

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University North / Sveučilište Sjever**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:206025>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-13**



Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)



**SVEUČILIŠTE SJEVER  
SVEUČILIŠNI CENTAR VARAŽDIN**



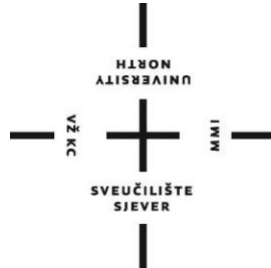
DIPLOMSKI RAD br. 7GRD/2020

**TEHNIČKA DIJAGNOZA STAMBENE  
ZGRADE POGOĐENE POTRESOM**

Lana Horvat, 0947/336D

Varaždin, listopad 2020.

**SVEUČILIŠTE SJEVER SVEUČILIŠNI CENTAR**  
**VARAŽDIN Studij Graditeljstva**



DIPLOMSKI RAD br. 7GRD/2020

**TEHNIČKA DIJAGNOZA STAMBENE**  
**ZGRADE POGOĐENE POTRESOM**

Student:  
Lana Horvat, 0947/336D

Mentor:  
doc. dr. sc. Matija Orešković

Varaždin, listopad 2020.

# Prijava diplomskog rada

## Definiranje teme diplomskog rada i povjerenstva

odjel Odjel Odjel za graditeljstvo i strojarstvo

studij diplomski sveučilišni studij Graditeljstvo

pristupnik Lana HORVAT

matični broj 0947/336D

datum 22.09.2020.

kolegij Tehnička dijagnoza

naslov rada TEHNIČKA DIJAGNOZA STAMBENE ZGRADE POGOĐENE POTRESOM

naslov rada na

engl. jeziku TECHNICAL DIAGNOSIS OF EARTHQUAKE AFFECTED RESIDENTIAL BUILDINGS

mentor dr. sc. Matija OREŠKOVIĆ

zvanje docent

članovi povjerenstva

1. prof.dr.sc. Božo SOLDO
2. doc.dr.sc. Matija OREŠKOVIĆ
3. doc.dr.sc. Aleksej ANISKIN
4. doc.dr.sc. Danko MARKOVINOVIĆ
- 5.

## Zadatak diplomskog rada

broj 7/GRD/2020

opis

U diplomskom radu je potrebno izraditi potpunu tehničku dijagnostiku zgrade u Zagrebu pogođene potresom ove godine. Cijelu zgradu potrebno je rekognoscirati te snimiti sva oštećenja uz komentar i pronalaženja uzroka oštećenja. Potrebno je napraviti kompletni pregled zgrade prema pravilima tehničke dijagnoze i građevinske patologije s detaljnom obradom i opisom oštećenja. Pregledom oštećenja potrebno je izvesti zaključke o ugroženosti građevine prema današnjoj korištenoj regulativi uz prijedlog hitnih mjera sanacije i osnovnih radova koje je potrebno izvesti kako bi se objekt doveo u uporabljivo stanje. Diplomski rad mora biti rađen prema Uputama za izradu Diplomskog rada Sveučilišta Sjever.

zadatak uručen

potpis mentora



## **ZAHVALA**

*Zahvaljujem se svom mentoru doc. dr. sc. Matiji Oreškoviću koji je svojim znanstvenim i stručnim savjetima oblikovao ideju i pomogao mi u izradi ovog diplomskog rada. Te hvala svim nastavnicima odjela graditeljstva koji su sudjelovali u stručnom širenju mog znanja.*

*Od srca zahvaljujem svojoj obitelji ponajviše majki Blanki i ocu Alenu na pruženoj potpori tijekom studiranja.*

*I na kraju hvala svim kolegama, prijateljima i dečku koji su uvijek bili uz mene kad je bilo suza i smijeha.*

***Veliko HVALA svima!***

***Lana Horvat***

## Sažetak

Tematika ovog diplomskog rada odnosi se na tehničku dijagnozu stambene zgrade pogođene potresom. Potresi su svakodnevna pojava, a posebno su opasni oni snažni koji se dogode u gradovima blizu seizmički aktivnih zona.

Koncepcija početnog dijela rada prikazuje nam sve općenite pojmove vezane uz potres i koji su nam potrebni za lakšu dijagnozu, te samu sanaciju neke građevine. Kako ulazimo u srž građevine susrećemo se sa mnogim posljedicama potresa koje ne samo da su izražene velikim raspucavanjem, odlomljivanjem i pukotinama tj. oštećenjima već se šire u određenom smjeru prema potresnom valu. Zaključno tome dolazi da konstrukcija gubi u svakom smislu svoju čvrstoću, duktilnost i krutost. Te na samom završnom dijelu opisana je ugroženost građevine prema današnjoj korištenoj regulativi uz prijedlog hitnih mjera sanacije i osnovnih radova koje je potrebno izvesti kako bi se objekt doveo u uporabljivo stanje. Svrha sanacije jest u tome da sve konstruktivne komponente zgrade (temelji, stupovi, grede, zidovi, stropovi, krovne grede i rogovi) povežu jedna s drugom u jednu integralnu cjelinu kako bi se u slučaju novog potresa zgrada ponašala kao jedna integralna cjelina.

***Ključne riječi:*** potres, oštećenja, dijagnosticiranje, sanacija

## **Abstract**

The topic of this master's on technical diagnosis of earthquake affected residential buildings. Earthquakes are daily presence, specially are dangerous strong ones that happens in the cities near the seismically active zones.

The conception of the initial part is presenting to us all general ideas which are connected to the earthquake and who are valued and who are significant for easier diagnosis, and for better improvement of some building. As we are entering into the core of structure or building we are coming across with many consequences of earthquake which are not only expressed with splitting, splitters and cracking or damages already they are wider in certain in one way in front of earthquake wave. Inclusive to that comes that construction loses its strength and stiffness. And on the final part is described endangered buildings and structures according to used regulation which uses emergency measures of recovery and primary works which need to be performed because building of structure can't be used again in minimum latency. Purpose of recovery is that the construction components of building (foundations, piers, beams, walls, ceilings, roof beams) relate one each other one altogether seamless application with a view to case of new earthquake building behave like one whole integrated unit.

***Keywords:*** earthquake, damage, diagnosing, recovery

## Popis korištenih kratica

### Velika latinična slova:

A	amplituda
CPT	konusni penetracijski test
D1	lagano oštećenje
D2 - D3	srednje, teško oštećenje
D4 - D5	vrlo velika oštećenja
E	energija
EMS	Europska makroseizmička ljestvica
H	udaljenost žarišta
M	magnituda
MCK	Mercalli - Cancani - Siebergova ljestvica
MSK	Medvedev - Spauheuer - Karinkova ljestvica
P	primarni valovi
Pl	srednji pliocen
S	sekundarni valovi
SH	horizontalna komponenta
SPT	standardni penetracijski test
SS	stupanj slobode
SV	vertikalna komponenta
Q	gornji pliocen

Velika latinična slova s indeksom:

$C_u$	posmična čvrstoća tla
$F_H$	horizontalna komponenta sile
$F_V$	vertikalna komponenta sile
$I_0$	epicentralni intenzitet potresa
$I_p$	plastični indeks
$N_{spt}$	broj udaraca standardnog penetracijskog testa
$Pl_1$	praktični sedimenti
$T_i$	period osciliranja
$Q_1$	kopneni prapor

Mala latinična slova:

kPa	mjerna jedinica za kilopaskal
log	logaritam
g	gravitacijska konstanta
t	vrijeme

Mala latinična slova s indeksom:

$v_s$	srednja vrijednost brzine
-------	---------------------------

Grčka slova:

$\sigma$	posmična čvrstoća
$\tau$	posmična čvrstoća

## 1. Uvod

Potresi su jedina elementarna nepogoda koju čovjek, usprkos impresivnom stupnju razvoja suvremene znanosti i tehnike, jednostavno ne može predvidjeti. Može ih očekivati, no nije moguće procijeniti kada i gdje će se zaista dogoditi. Tektonska aktivnost nas uvijek podsjeti na to koliko smo zapravo maleni pod zvijezdama. Nažalost, ona može prouzročiti goleme materijalne štete i gubitak života.

Zemljina kora se sastoji od nešto drugačije vrste granica od onih na koje smo navikli. Radi se o golemim geološkim pločama, na čijim površinama leže oceani i kontinenti. Gonjene topline koja dolazi iz unutrašnjosti planete, ploče se neprestano podvlače i klize jedna niz drugu, sudaraju se, razmiču ili stapaju. Sučeljavanje dijelova zemljine kore stalni je proces, a na granicama geoloških ploča nalaze se područja golemih tektonskih aktivnosti. Tamo se stvaraju planine, geiziri i vulkani ili se javlja izražena seizmičnost uzrokovana silnim trenjem. Upravo ta seizmička aktivnost nam stvara velike probleme. Tektonska aktivnost može se očitati tek kao bezbroj malih potresa koje ljudski organizam nije niti u stanju zapaziti. Nažalost, nekada se u seriji manjih javi i neki veći potres, a njihov kumulativni učinak može uzrokovati ozbiljne posljedice po građevine i infrastrukturu gradova.

Ono na što ljudi prije potresa mogu utjecati jest pametno projektiranje građevinske konstrukcije, kako bi građevine bile što otpornije na destruktivne sile potresa. Promišljeni standardi gradnje su ključni za očuvanje ljudskih života te sprječavanje materijalnih šteta i ekonomskih gubitaka. Danas je u mnogim zemljama sigurnost konstrukcija s obzirom na potresno opterećenje propisana lokalnim i međunarodnim građevinskim zakonima, sukladno seizmološkim proračunima, te se može pretpostaviti da će većina moderno izvedenih zgrada dobro reagirati na potres.

Postoje posebni propisi za razne vrste konstruktivno relevantnih materijala poput betona i čelika. Bitno je uzeti u obzir lokalne uvjete tla, paziti na dovoljnu duktilnost (mogućnost materijala da podnese deformaciju bez krhkog loma) svih konstruktivnih elemenata te same konstrukcije kao cjelokupnog sustava. Njezina stabilnost je od presudne važnosti jer mora podnijeti sve moguće kombinacije opterećenja uzrokovano kretanjem tla u raznim smjerovima.

U Hrvatskoj se primjenjuje propis Eurocod 8: Projektiranje potresne otpornosti konstrukcija, koji nalaže da se visokogradnja projektira i gradi tako da se spriječi rušenje konstrukcije, ograniči stupanj oštećenja uslijed potresa te da važni javni objekti moraju ostati uporabljivi čak i ako se dogodi potres. Temeljna konstrukcija mora imati nosivost koja će podnijeti sve što je na datoj lokaciji može zadesiti. Stoga je važno kritički procijeniti stanje starijih zgrada te ne previše zadirati u njihovu supstancu, ne bušiti vanjske zidove, pretjerivati s rušenjem unutarnjih zidova tijekom adaptacije stanova i slično. Jer što se više mijenja, to se više narušuje stabilnost građevine.

Za kvalitetnu obnovu potrebno je opsežna dijagnoza postojeće konstrukcije. Nakon stvaranja potrebne dokumentacije o analizi trenutnog stanja, kakvoći materijala, vrsti građevine te njezine otpornosti na potresne sile, izrađuju se mjere seizmičkog poboljšanje zgrade. One se odnose na tehničke preinake za poboljšanje konstrukcijskog sustava, a s time i na otpornost na potres, jer se intervencijom povećava čvrstoća i duktilnost pojedinih konstrukcijskih elemenata.

Dijagnoza je vrlo važan alat za daljnje odluke o tome kako tehnološki pristupiti obnovi te za realnu procjenu troškova potrebnih radova, budući da se često radi o sveobuhvatnom pojačanju konstrukcijskog sustava. Nakon inicijalne procjene o tome je li zgrada sigurna za korištenje, ako je odlučeno da je građevina prikladna za obnovu, kreće se u izradu projekta obnove nakon potresa. Tu se radi o popravku i ojačavanju građevina koje su pretrpjele štete tijekom potresa. Možda će oštećeni dio zgrade trebati tek ojačati, a možda će biti potrebna potpuna zamjena pogođenih elemenata.

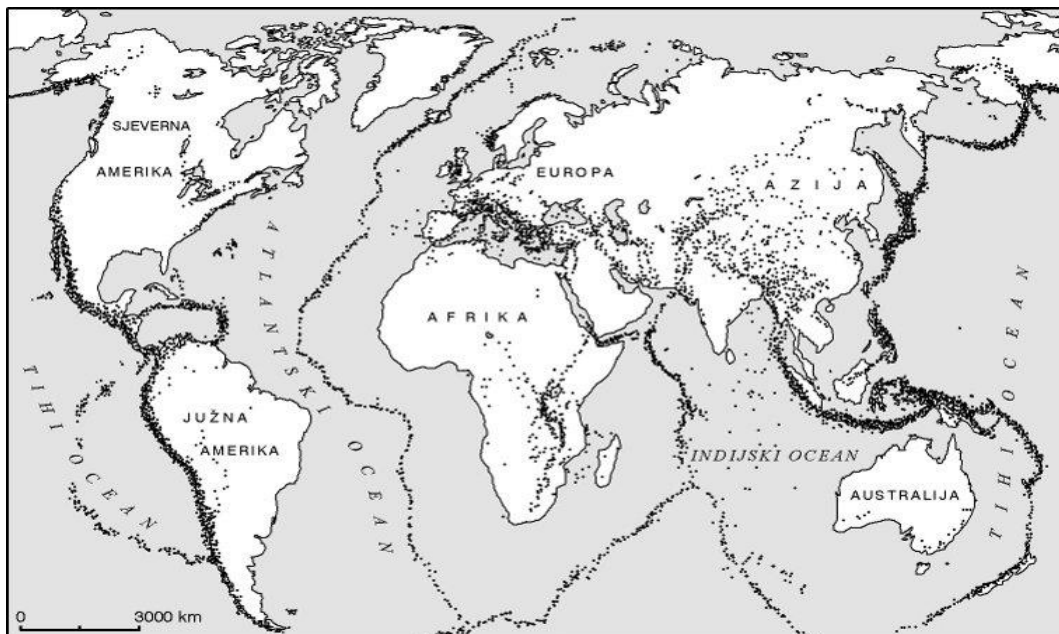
Ciljevi obnove su: povratiti konstrukciju u izvorno stanje koje je imala prije potresa tako da se oštećenja poprave te spriječi daljnje propadanje, nadograditi postojeće stanje tako da se poveća krutost zgrade, ojača postojeća konstrukcija itd., manjenje seizmičkog odaziva uvođenjem novih elemenata za disipaciju energije, smanjenjem ukupne mase ili izolacijom podnožja zgrade posebnim elementima između same konstrukcije i temelja, kako bi se smanjila vibracija konstrukcije uslijed potresa.

## 2. Općenito o potresima

**Seizmologija** (grč. *seismos*: potres i *logos*: znanost) je geofizička grana koja se bavi proučavanjem potresa i njihovih popratnih pojava. Rezultati seizmoloških istraživanja primjenjuju se u građevinarstvu (potresno inženjerstvo, inženjerska seizmologija, protuseizmička gradnja), urbanom planiranju i u istraživanjima nafte i prirodnog plina (primijenjena geofizika). [2]

Seizmička aktivna područja na Zemlji – seizmološke karte, mapiraju makroseizmičke intenzitete analizom podataka o potresima.

Bavi se i proučavanjem kretanja seizmičkih valova kroz Zemljinu koru i plašt.



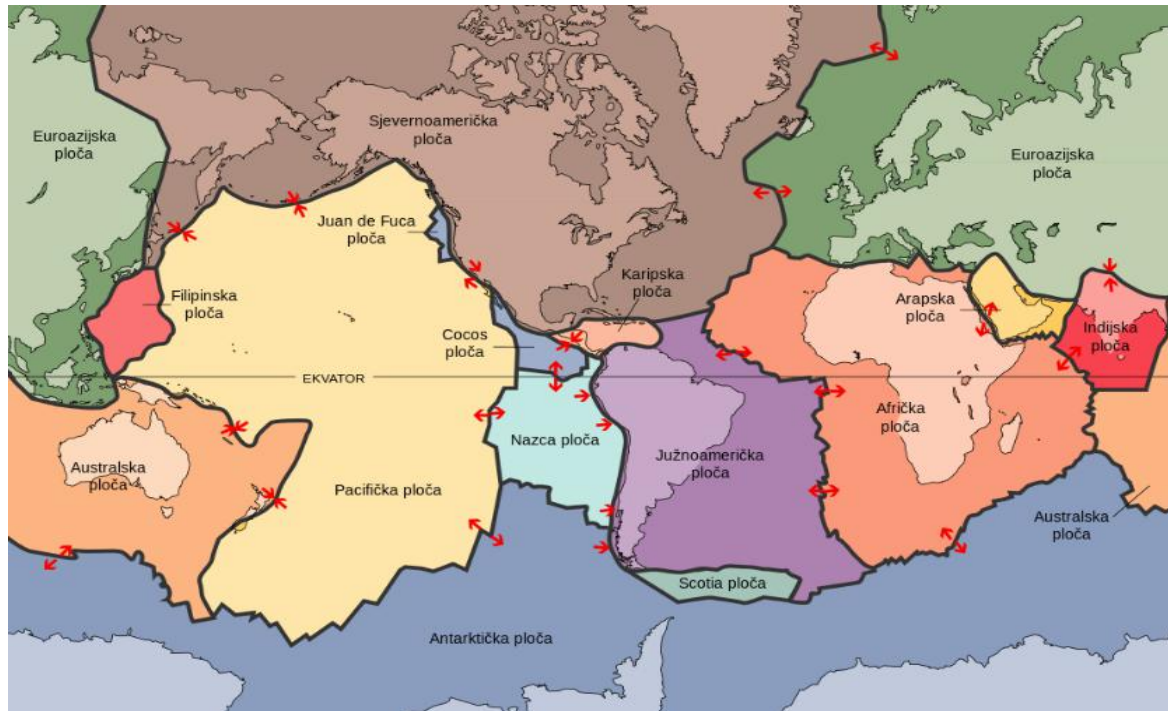
Slika 2.1. - Karta globalnih epicentara potresa od 1977. do 1986. (Krleža, 2019)

**Tektonske ploče** - postoji tektonska teorija koja objašnjava većinu potresa. Radi se o tome da Zemljina kora debljine 10 do 60 km razlomljena je na ploče koje se kao kruta tijela pomiču po Zemljinom plaštu, pri čemu se sudaraju, što uzrokuje sile.

Nakon iscrpljenja nosivosti nastaje raspucavanje i nagli pomaci praćeni oslobađanjem energije što se na površini opaža kao potres. Do pomaka dolazi i unutar ploča – na rasjedima. Za razliku od drugih nepogoda, učestalost potresa je prilično stalna, no radi se o katastrofalnim događajima koji odnose više života od drugih nepogoda. Potresi se javljaju u neregularnim intervalima u prostoru i vremenu.

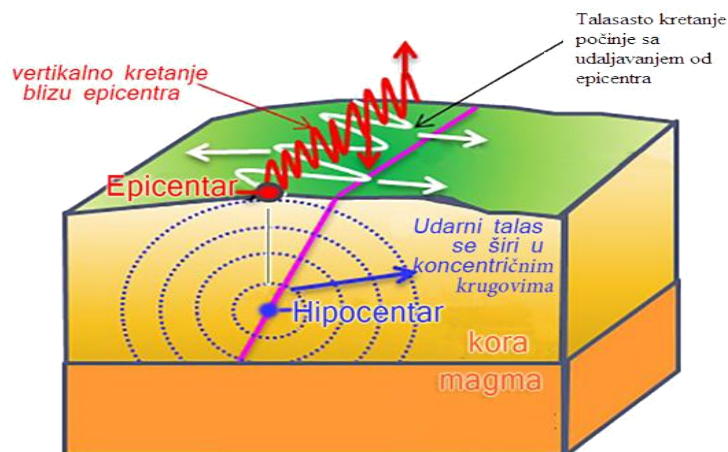


Za kvantifikaciju seizmičkih djelovanja na nekom području potrebno je naći neke zakonitosti pojave potresa. Ako postoji dovoljno podataka o potresima koji su se dogodili na nekom području, tada se može procijeniti učestalost potresa s određenom magnitudom za to područje. [2]



Slika 2.2. - Tektonske ploče (Tom, 2004)

**Potres** - gibanje tla kao posljedica oslobađanja energije u zemljinoj kori *slika 2.3*. Uz tumačenje ove prirodne pojave uvijek se postavlja glavno pitanje: Kako se potres kao proces inicira? Ono što prethodi inicijaciji potresa su pomaci duž tektonskih ploča, gdje dolazi do akumulacije elastične energije, zbog povećanja posmičnog naprezanja u materijalu na granicama tektonskih ploča. Kada posmično naprezanje premaši posmičnu čvrstoću stijene onda dolazi do sloma stijenske mase, a to izaziva oslobađanje „uskладиštene“ količine elastične energije. Navedene se tvrdnje odnose na nastajanje tektonskih potresa. Prema porijeklu i mjestu nastanka, odnosno prema njihovoj genezi, još postoje i potresi izazvani vulkanskim erupcijama, urušni potresi (gorski udari) koji su posljedica prekomjerne eksploatacije mineralnih sirovina te potresi izazvani podzemnim testiranjem nuklearnih eksplozija. [3]



Slika 2.3. - Prikaz potresa u zemljinoj kori (Ivić, 2015)

**Epicentar** - prema definiciji predstavlja točku, odnosno manje područje na Zemljinoj kori u kojoj je intenzitet potresa najveći (dostiže najviše stupnjeva). Ovaj pojam podliježe metaforičkom tumačenju, tako da se može upotrebljavati i u svakodnevnom govoru al u kontekstu „centar“ kao izvorište nečeg neočekivanog. Nalazi se izravno iznad točke u kojoj rasjed počinje pucati. To je najčešće i mjesto na kojem se potres najjače osjeti i gdje napravi najveću štetu. Kod većih potresa dužina pucanja rasjeda je mnogo duža, pa šteta može nastati uzduž cijele zone pucanja. [3]

**Hipocentar** - žarište potresa: mjesto u zemljinoj kori gdje nastaje potres.

Po dubini može svrstati u 3 kategorije:

1. plitki su do dubine od 70 km ispod površine Zemlje, najčešće u zonama razmicanja litosfernih ploča,
  2. srednji su dubine između 70 i 300 km ispod površine,
- duboki se nalaze na dubinama između 300 km i 730 km ispod površine Zemlje, a to su najčešće hipocentri u zonama subdukcije (proces uranjanja ili tonjenja jedne litosferne ploče pod drugu).

**Potresni valovi** - kinetička energija oslobođena slomom materijala u hipocentru (fokusu) širi se u obliku elastičnih valova kroz medij – Zemljinu koru. Te se na površini osjete kao podrhtavanje odnosno vibracije tla.

**Prostorni valovi :**

P valovi, primarni, uzdužni - izazivaju normalna (tlačna i vlačna) naprezanja, odnosno deformacije

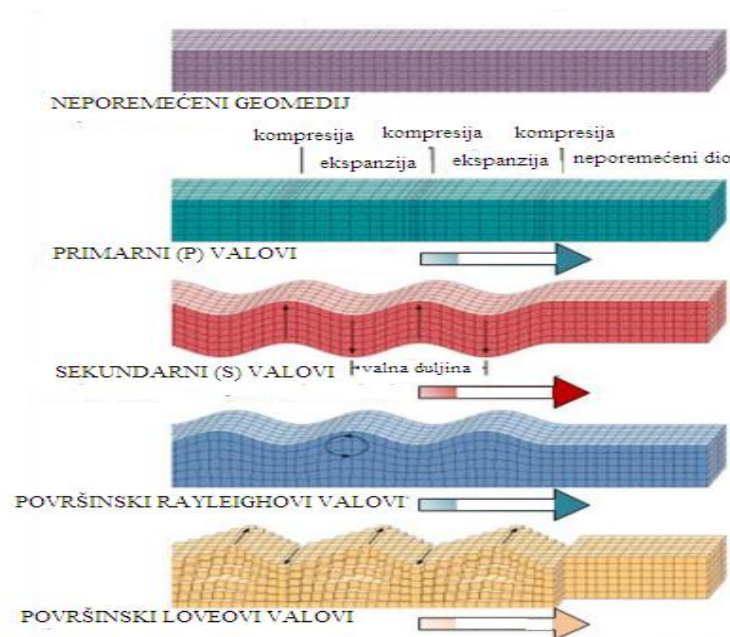
S valovi, sekundarni, transversalni, poprečni ili posmični - koji izazivaju posmične deformacije pri širenju kroz geomedij. S val se razlaže na dvije komponente: SV (vertikalna komponenta i SH (horizontalna komponenta).

**Površinski valovi:** nastaju interakcijom prostornih valova s površinom na kontaktu geomedij-zrak (litosfera-atmosfera).

Rayleighovi valovi – nastaju kao proizvod primarnih P valova i vertikalne komponente sekundarnog SV vala.

Loveovi valovi posljedica interakcije horizontalne komponente SH vala s površinom i nemaju vertikalnu komponentu.

Površinski valovi su sporiji od prostornih valova. Iako im amplitude značajno opadaju s dubinom, njihova veličina na površini može biti značajna (za red veličine veća od amplitude primjerice S vala). Budući da je energija koju nose razmjerna kvadratu amplitude ( $E \sim A^2$ ), sigurno je da ti valovi mogu izazvati velike štete tijekom potresa.



Slika 2.4. - Vrste, načini širenja valova (Sciury, 2019)

**Intenzitet** zapravo predstavlja mjeru jakosti potresa koja se očitava na temelju nastale štete na lokaciji potresa ili s obzirom na reakciju ljudi na učinke potresa (reakcije osoba koje su se zatekle usred samog potresa). Intenzitet ne ovisi samo o količini oslobođene energije već i o lokalnim uvjetima. [2]

Izražava se stupnjevima prema opisnoj ljestvici intenziteta:

- MSK – 64,
- EMS – 98 Europska makroseizmička ljestvica – opisna stupnjevi intenziteta od I do XII,
- opis učinka na ljude, predmete i prirodu, zgrade (građevine).

STUPANJ POTRESA	NAZIV POTRESA	OPIS ŠTETE KAO MJERE UČINKA POTRESA
I.	nezamjetljiv potres	bilježe ga jedino seizmografi
II.	jedva osjetan	osjeti se samo u gornjim katovima visokih zgrada
III.	lagan potres	tlo podrhtava kao da ulicom prođe automobil
IV.	umjeren potres	prozori i staklene stijene zveče kao da je prošao teško teretno vozilo
V.	prilično jak potres	njišu se slike na zidu
VI.	jak potres	slike padaju sa zida, ormari se prevrću i padaju
VII.	vrlo jak potres	ruše se dimnjaci, crjepovi padaju sa krova, kućni zidovi pucaju
VIII.	razoran potres	slabije kuće se ruše, a jače građevine oštećuju, tlo puca
IX.	pustošan potres	kuće se teško oštećuju i ruše, nastaju velike pukotine, klizišta i odroni
X.	uništavajući potres	većina se kuća ruši do temelja te mostovi i brane se ruše, izbija podzemna voda
XI.	katastrofalni potres	srušena je velika većina zgrada i građevina, kidaju se i ruše stijene
XII.	veliki katastrofalni potres	sve što je čovjek izgradio srušeno je do temelja, mijenja se krajolik, rijeke, jezera, korita..

Tablica 2.1. - Mercalli - Cancani - Siebergova (MCS) ljestvica intenziteta potresa (Enciklopedija, 2016)

**Magnituda potresa (M)** - mjera jakosti potresa ili oslobođene deformacijske energije određena instrumentalnim mjerenjem uređajima u širem okolišu hipocentra. Naziva se i Richterova magnituda, prema C.F.Richteru

Oslobođena energija i amplituda potresa povezane su empirijskim formulama.

Magnitudna ljestvica je nelinearna – logaritamska:

- povećanje magnitude za 1 stupanj odgovara povećanju energije 32 puta,
- povećanje M za 2 odgovara povećanju energije za 1000 puta.

Kod mjerenja magnitude mjere se karakteristike jakog gibanja tla i dobivamo brožčani iznos koji nam označava jačinu potresa, dok se intenzitet određuje opisno na temelju opažanja štete na lokaciji potresa ili reakcijom ljudi na potres.

Kako bi se Richterova magnituda M (ljestvica šteta određenih prema izmjerenim amplitudama potresa) mogla povezati s intenzitetom potresa  $I_0$  (štete određene na temelju pregleda građevina i opisa njihovih stanja), znanstvenici su predložili empirijske izraze koji povezuju magnitudu s intenzitetom na određenom području.

Primjerice:

$$M = -1.682 + 0.654 I_0 + 1.868 \log(H) \text{ (orthogonalregression)}$$

$$M = 0.5 I_0 + \log(H) + 0.35 \text{ (Kárník – za plitke potrese)}$$

-gdje je  $I_0$  epicentralni intenzitet potresa, a H je udaljenost žarišta od površine Zemlje u km.

MCS intenzitet [°]	Richterova magnituda [1]
I.	0,0 – 1,5
II. – III.	1,5 -2,5
III. – IV.	2,5 – 3,0
IV. – V.	3,0 – 3,5
V. – VI.	3,5 – 4,0
VI. – VII.	4,0 - 4,5
VII. – VIII.	4,5 – 5,0
VIII. – IX.	5,0 – 5,5
IX. – X.	5,5 – 6,0
X. – XI.	6,5 – 7,0
XI. – XII.	7,0 – 7,5
XII.	7,5 – 10,0

Tablica 2.2. - Aproximativni odnos intenziteta MCS ljestvice i Richterove magnitude (Oluić, 2015)

### 3. Oštećenja prilikom potresa

Oštećenja prilikom potresa se općenito i uobičajeno nazivaju seizmički hazardi. Hazard je pojam koji opisuje potencijalnu štetu, gubitak života i zdravlja ljudi, štete na materijalnim dobrima i inženjerskim konstrukcijama te štete u okolišu. Seizmički hazard je pojam vezan uz hazarde koje uzrokuje (ili može uzrokovat) potres. S obzirom na rastuće potrebe da se procjenjuju i učinci potresa, odnosno njihovo djelovanje na okoliš, praktično se seizmičke hazarde podijeli na (1) primarne i (2) sekundarne.

(1) oni koji su izravne posljedice poremećaja i pomaka u litosferi. Te posljedice imaju velike razmjere pa se mogu smatrati regionalnim ili čak globalnim, a ubrajamo u takve hazarde:

**1. Uzdignuće i potonuće reljefa** - predstavlja vertikalni pomak litosfere te kontinentalne (i oceanske) kore izazvan interakcijom tektonskih i površinskih procesa. U površinske ubrajaju se erozija, transport i sedimentacija materijala. To su procesi koji troše postojeće stijene, transportiraju rastrošeni materijal i stvaraju slojeve sedimenata. Proces uzdignuća površine najjednostavnije se objašnjava na primjeru nastajanja planinskih lanaca. Kada tektonske ploče konvergiraju, jedna ploča se podvlači pod drugu zbog čega dolazi do uzdignuća stijenske mase. Kako se stijenska masa uzdiže, povećava se strmina uzdignute stijenske mase, radi čega dolazi do povećanja broja i ubrzavanja erozijskih procesa. Uslijed povećane erozije dolazi do daljnjeg uzdizanja stijenske mase zbog izostazije i konvergencije tektonskih ploča. Proces uzdizanja stijenske mase prestaje kada stijenska masa dosegne određenu kritičnu visinu jer tada zbog gravitacijskog djelovanja stijenska masa dođe u ravnotežu sa silama koje guraju stijensku masu prema gore. [1]

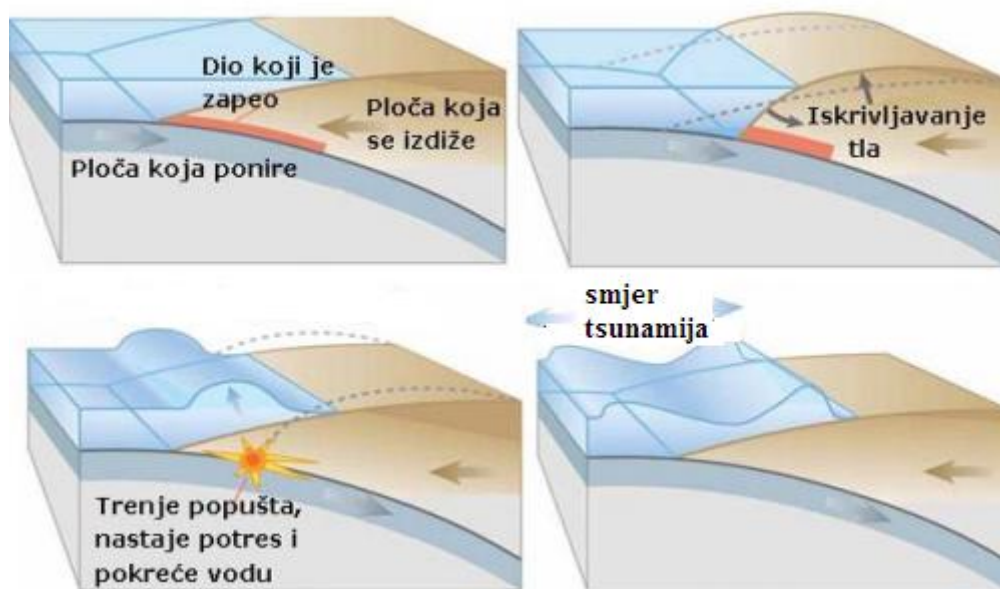
**2. Rasjedanje reljefa** - kod pomicanja tektonskih ploča dolazi do sloma stijenske mase pri čemu se oslobađa u njoj energija. Kada se slom (trag loma) produlji do površine terena, dolazi do neke trajne deformacije, odnosno do rasjedanja površine. [1]



Slika 3.1. -Rasjedanje reljefa (Wikipedija, 2017)



**3. Tsunami** - seizmički uvjetovani morski valovi uzrokovani snažnim potresima u podmorju usred tektonske aktivnosti/vulkanske erupcije/podmorskog klizišta - oceansko dno se podiže ili spušta usred potresa te se usred toga formira dugi morski val (valna duljina vala do 200 km, amplitude su do 30-ak cm) koji se kreće prema obali brzinama do 800 km/h. [1]



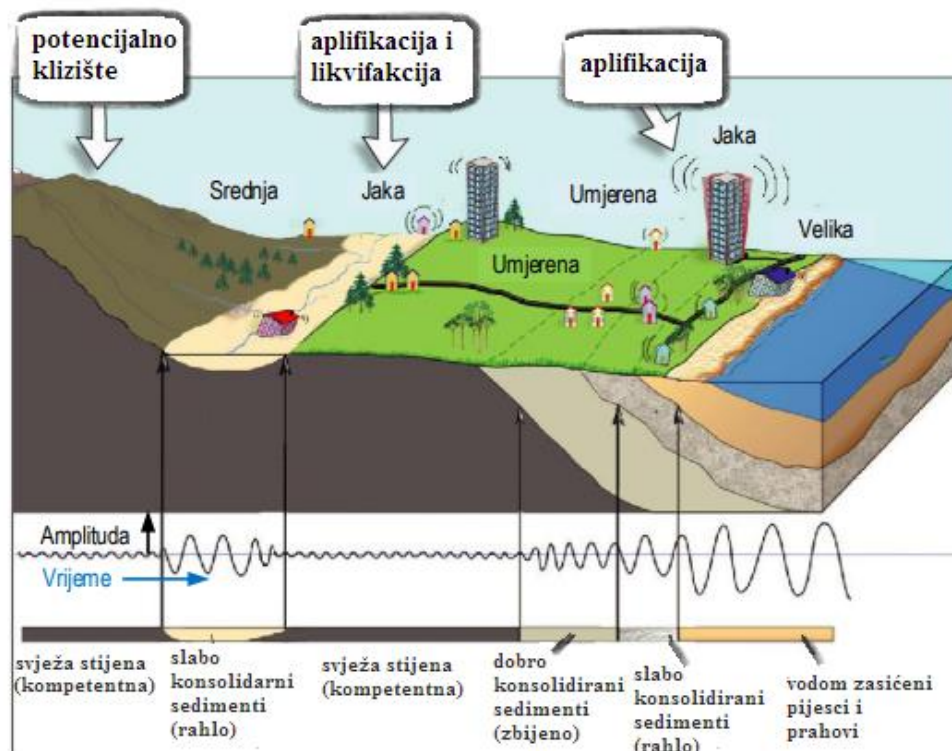
Slika 3.2. - Inicijacija tsunamija

(2) možemo okarakterizirati kao sekundarne posljedice izazvane potresanjem tla (potresom). Obično se smatraju kao lokalni učinci na određenom prostoru. U sekundarne seizmičke hazarde spadaju:

**1. Likvefakcija tla** - trenutna smanjenost posmične čvrstoće nekoherentnih

materijala zbog dinamičkih učinaka (smanjenje čvrstoće tla). Pojam povezuje veliki broj različitih inženjerskih fenomena u rahlim i saturiranim pijescima gdje su svi vezani uz pojave tečenja. Te se pojave dijele u tri osnovne grupe: tečenje likveficiranog tla, ciklička mobilnost i površinska likvefakcija. U inženjerskoj praksi se pokušava definirati susceptibilnost (sklonost) neke vrste tla prema pojedinoj pojavi likvefakcije. Sklonost nekog tla likvefakciji ovisi primarno o njegovom geotehničkom stanju (stanje naprezanja i zbijenosti - gustoća) u vrijeme pojave potresa. Također vrlo je važna i definicija i procjena potencijala likvefakcije koja obuhvaća potresno opterećenje zajedno s rezistencijom nekog tla prema stvaranju stanja za tečenje tla, odnosno prema likvefakciji. [1]

Taj se otpor definira brojem ciklusa dinamičkog opterećenja u obliku određene razine cikličkog posmičnog naprezanja potrebnog za slom tla određene gustoće i zbijenosti. Osim laboratorijskih ispitivanja, za određivanje otpora likvefakciji su vrlo važni in-situ testovi kao što su SPT i CPT dinamičke geotehničke probe te geofizičke metode za određivanje brzine posmičnih valova. Važno je uočiti da likvefakcija može značajno promijeniti amplitudu i frekventni sadržaj gibanja površinskog tla (odziv) tijekom potresa. S porastom dodatnog tlaka porne vode dolazi do razmekšavanja tla pa se pomaci na površini tla mogu ozbiljno povećati čak i kad se akceleracija na površini smanjuje. U saturiranim kao i suhim pijescima takvi ciklički pomaci dovode do zbijanja (denzifikacije) površinskog sloja pa se očekuju slijeganja. Ona se mogu razviti gotovo odmah, tijekom djelovanja potresa, no u saturiranim se pijescima slijeganje može pojaviti i dosta kasnije, nakon potresa. Veličina slijeganja ovisi o gustoći i zbijenosti geomedija, ali i o amplitudi pomaka te trajanju potresa (potresanja zemlje). [1]



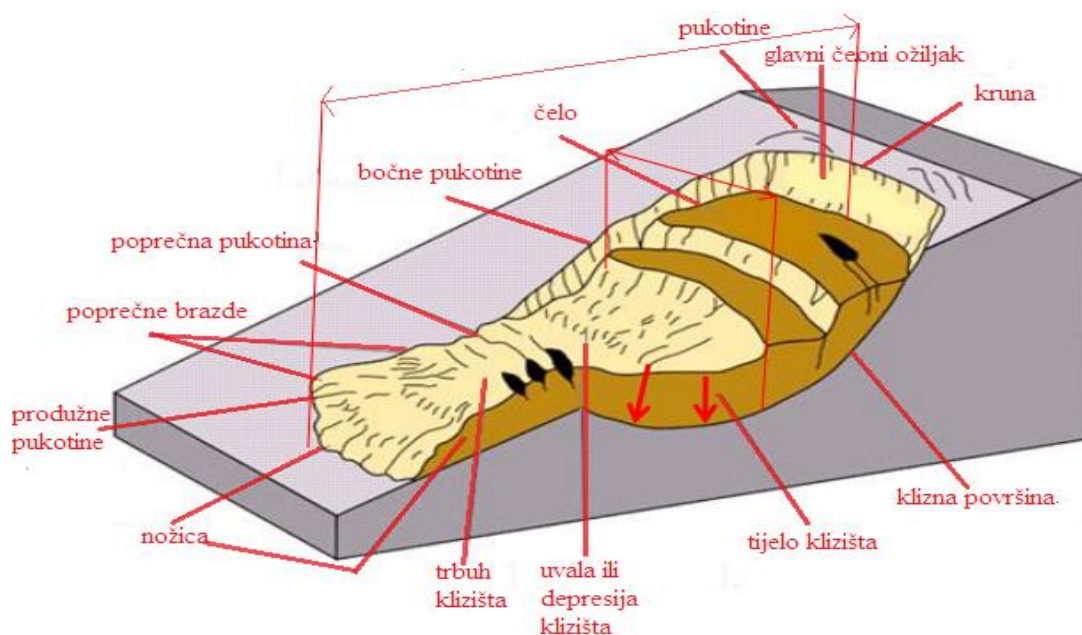
Slika 3.3. - Djelovanje seizmičkih valova u različitim tipovima geomedija (Earthscope ANGLE, 2019)



**2. Klizanje tla** - samo klizište predstavlja jednu od ozbiljnih geološko-geotehničkih opasnosti, čije pojave mogu znatno promijeniti reljef okoline u kojoj živimo. Rasprostranjeno je diljem svijeta te stvaraju značajne materijalne štete, ali su i stalna prijetnja i opasnost po život ljudi. Većina klizišta se stvara na prirodnim kosinama, u uvjetima kada posmične sile trenja na kliznoj plohi postanu nedostatne da spriječe klizanje mase tla niz padinu. Vrlo često okidač aktivacije klizišta su promjene razine i tokova podzemne vode, odnosno promjene stanja na kontaktima dvaju geomedija vrlo različitih geotehničkih svojstava te djelovanje seizmičkih (posebno horizontalnih) sila, odnosno značajno gibanje tla. [5]

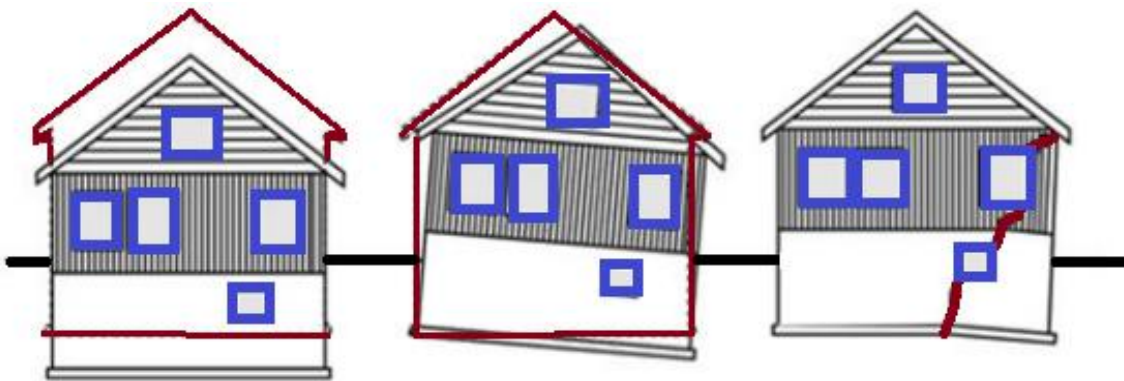
Klizanje tla izazvano potresima može se podijeliti u tri kategorije:

isprekidana klizanja i parcijalni odroni događaju se na strmim padinama u geomediju koji je vrlo heterogene građe, diskontinuiran, fragmentiran i trošan. Brzine klizanja ili odrona su ekstremno velike i stvaraju značajne štete, koherentna ili kontinuirana klizanja nastaju na strmim do srednje strmim padinama, mase kliznog tijela ili stijenski blokovi se transliraju ili rotiraju na dubljim kliznim plohama. Brzine klizanja su manje nego kod isprekidanih klizanja, bočno širenje i tečenje odvija se na likveficiranom tlu zbog male rezidualne čvrstoće materijala. Klizanje se može razviti na skoro ravnim kosinama, a brzine klizanja i tada mogu biti prilično velike.



Slika 3.4. - Dijelovi klizišta

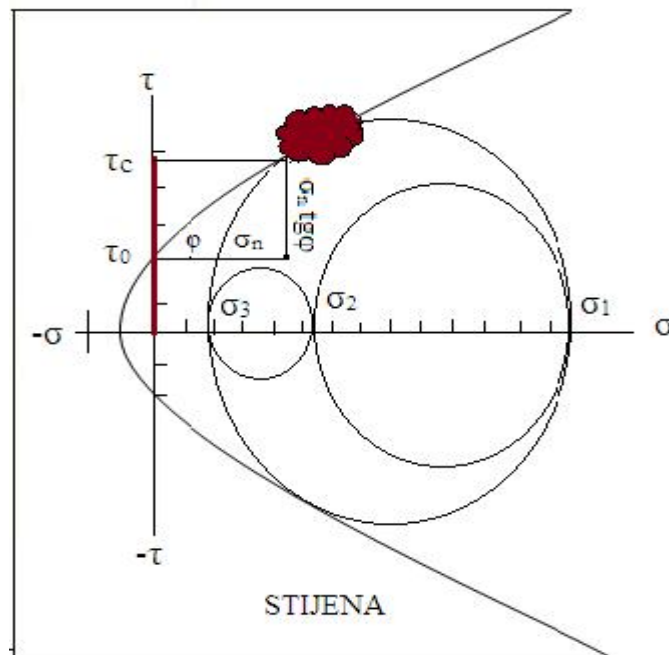
**3. Slijeganje tla** - potonuće površine terena (slijeganje) je jedan od učinka koji se odvija tijekom potresa zbog vibracija koje izaziva potres. Samo slijeganje može biti uniformno i diferencijalno. Uniformno slijeganje je ono kod kojeg se cijela površina ispod građevine sliježe jednoliko, dok je diferencijalno slijeganje kada pojedini dijelovi površine ispod građevine sliježu različito. Sam proces slijeganja može uzrokovati značajne materijalne štete na građevinama i konstrukcijama. Međutim diferencijalno slijeganje može izazvati veću štetu od uniformnog slijeganja s obzirom da jedan dio građevine-konstrukcije sliježe znatnije od drugog dijela. Slijeganje se odvija na područjima s rahlim tlom, odnosno u tlu koje nije dovoljno konsolidirano (koherentna tla) i u tlu koje nije dostatno zbijeno (nekoherentna tla). Postoje tri tipa slijeganja koji su prikazani na *slici 3.5*. ravnomjerno slijeganje, neravnomjerno slijeganje, diferencijalno naginjanje. [6]



*Slika 3.5. - Slijeganje objekta*

**4. Rasjed** - su posmične pukotine duž kojih su stijene ili stijenska tijela pomaknuta s jedne u odnosu na drugu stranu pukotine u iznosu većem od par centimetara. Smjer i veličinu pomaka po rasjedu definira vektor pomaka rasjeda.

Pomaci mogu biti dugotrajni i ne izazvati potres ili mogu se dogoditi brzo, pri čemu dolazi do vibracija stijenske mase - potresa. [4]



Slika 3.6.- Rasjed stijene

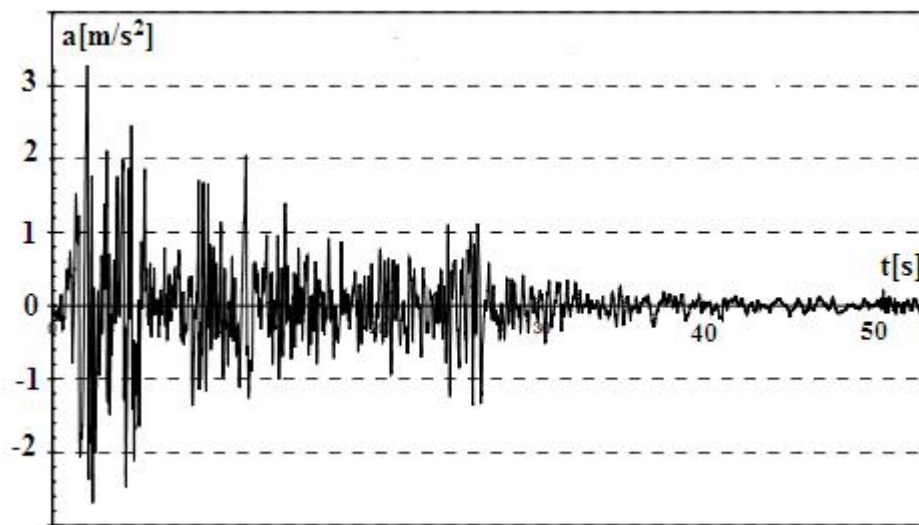
Na slici 3.6 prikazan je rasjed koji nastaje kao posljedica diferencijalnog naprezanja u Zemljinoj kori kada posmično naprezanje ( $\tau$ ) premaši posmičnu čvrstoću ( $\sigma$ ) stijene. U idealnim uvjetima očekujemo da određeni tip rasjeda nastaje u određenom polju naprezanja, koje definiraju tri glavne osi naprezanja:

- konjugirani par normalnih rasjeda u ekstenzijskom polju naprezanja,
- konjugirani par reversnih rasjeda u kompresijskom polju naprezanja,
- konjugirani par rasjeda s horizontalnim pomakom u transpresijskom ili transtenzijskom polju naprezanja.

### Karakteristike vibracija tla ovise o nizu faktora:

- magnitudi,
- udaljenosti od žarišta,
- geološkim karakteristikama stijenskih masa,
- lokalnim geomehaničkim karakteristikama, itd..

Na određenoj lokaciji mogu se dobiti analizom akceleroograma (ubrzanje, brzina i pomaci tla). U praksi se najviše koriste spektri ubrzanja, a predloženi u svom jednostavnom obliku oni su i sastavni dio svih suvremenih tehničkih norma za planiranje i građenje u seizmičkim područjima.



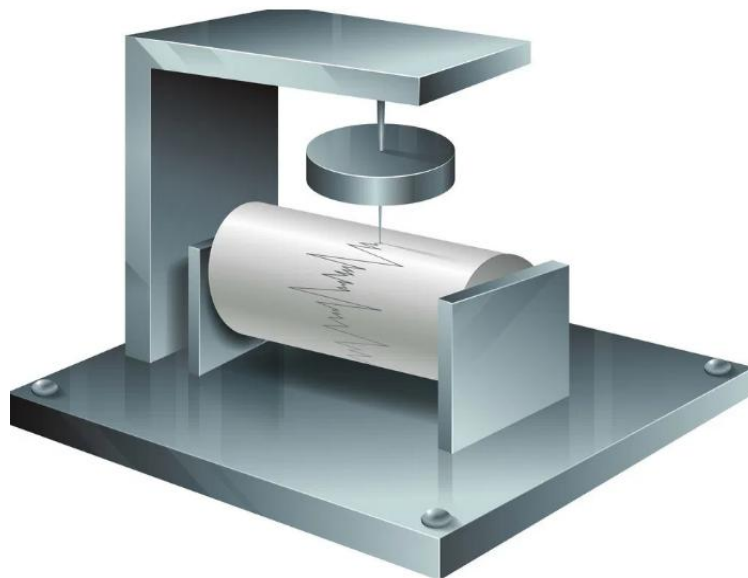
Slika 3.7. – Akceleroogram (Dujmović, 2020)

Postupak proračuna spektara odaziva može se prikazati po koracima kako slijedi:

- akceleroogram nekog potresa ,
- sistem s jednim stupnjem slobode (1SS) s odabranim prigušenjem,
- bira se period osciliranja  $T_i$ ,
- linearna dinamička analiza sustava s 1SS u vremenu  $t$  ,
- izdvajamo apsolutnu vrijednost maksimalnog odgovora,
- unosimo vrijednosti u spektralni dijagram,
- ponavljamo korake 3-6 za dovoljan broj perioda  $T_i$ ,
- ponavljamo korake 2-7 za novu veličinu prigušenja ili ponavljamo korake 3-6 za drugi akceleroogram potresa. [1]

Kad već govorimo o akcelero grafu to je uređaj koji bilježi ubrzanje točke za koju je pričvršćen, u funkciji vremena. Gibanje tla kod potresa je kaotično, pa se prostorno kretanje može odrediti ako se pomaci zapišu u tri međusobno okomita smjera. Registriraju se učinkoviti potresi koji su u blizini epicentra.

Također imamo i seizmograf koji bilježi gibanje površine zemlje u funkciji vremena. A koristi se fizikalni princip inercije, tj. igla koja registrira potres ostaje relativno u stanju mirovanja u odnosu na seizmogram (papirnatu traku) koja se kreće zajedno sa Zemljinom korom. Kod njega se registriraju udaljeniji i slabiji potresi. Oscilacije tla točno su određene ako je poznat akcelero gram zabilježen na određenoj lokaciji za vrijeme potresa.



*Slika 3.8. – Seizmograf (Dujmović, 2020)*

Analizom zapisa potresa određuju se:

maksimalno ubrzanje tla,

maksimalna brzina tla,

maksimalni pomaci tla,

trajanje jakog dijela oscilacija,

frekventni sastav oscilacija (dominantni periodi).

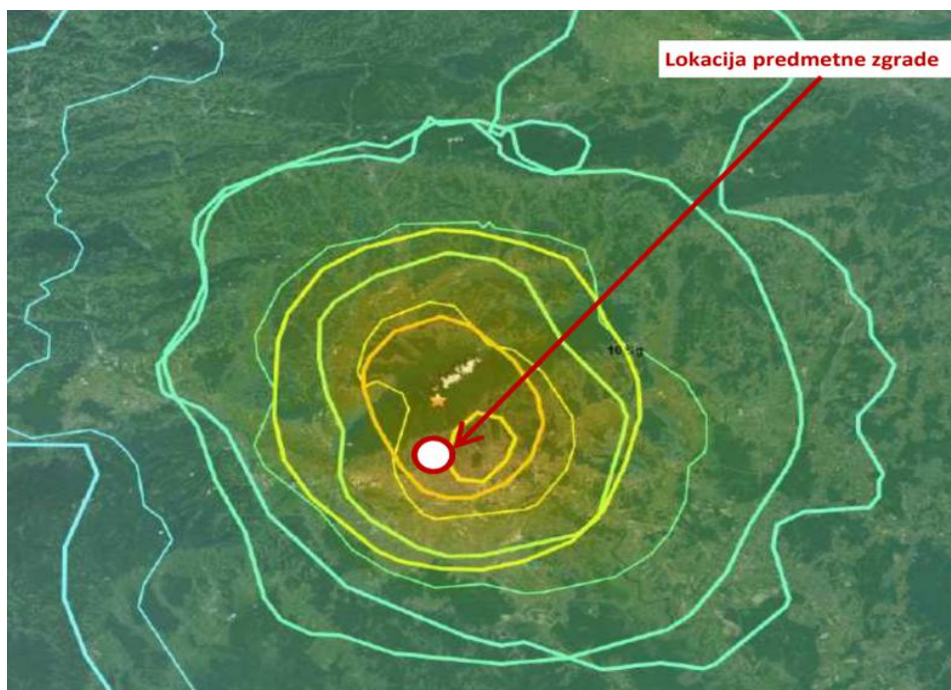
## 4. Potres u Zagrebu

### 4.1. Opis potresa

Prvi po ljestvici najjači potres u Zagrebu dogodio se 22. ožujka 2020. Epicentar potresa nalazio se 7 kilometra sjeverno od središta Zagreba (Markuševec), na dubini 10 km. Na temelju analize smjera i amplitude prvog pomaka P-vala očitanih sa 144 seizmograma zabilježenih u Hrvatskoj i diljem Europe, izračunati je žarišni mehanizam najjačeg potresa koji se dogodio 22. ožujka 2020. Time su određena dva rasjeda na kojima se potres mogao dogoditi, kao i način na koji su se rasjedna krila micala jedno u odnosu na drugo. Podaci ukazuju na to da se potres dogodio na reverznom rasjedu čija rasjedna ploha pada pod kutom od 45° ili prema sjeveru-sjeverozapadu ili prema jugu-jugoistoku.

Usljedio je još jedan potres jačine 5,0 stupnjeva po Richteru. Epicentar je bio 10 kilometara sjeverno od Zagreba na dubini od deset kilometara.

Treće jače podrhtavanje tla zabilježeno je jačine 3,7 po Richteru. Epicentar je zabilježen na dubini od dva kilometara. Vrlo vjerojatno je ovaj potres prouzročio većinu nastale štete na predmetnoj zgradi, odnosno, štetu nastalu prvim potresom pojačao. Naime, iako je ovaj treći potres bio slabije magnitude od prva dva, njegov epicentar se nalazio puno bliže od prva dva.



Slika 4.1. - Karta podrhtavanja tla za vrijeme najveće magnitude (EMSC, 2020)

Prema Eurocodu 8 svaka zemlja je podijeljena na seizmičke zone ovisno o tektonskim svojstvima. Ovisno o seizmičkoj zoni definirana je vrijednost maksimalnog ubrzanja „ag“ u stjenovitom ili drugom tlu. Tlo je podijeljeno u pet osnovnih razreda (A, B, C, D i E), te ovi razredi imaju i podrazrede. Tlo na predmetnoj lokaciji nalazi se u razredu tla „B“.

Tip tla	Opis geotehničkog profila tla	$v_{s,30}$ [m/s]	$N_{spt}$ [n/30cm]	$C_u$ [kPa]
A	Stijena ili druga geološka formacija uključujući najmanje 5 m slabijeg materijala na površini.	>800	-	-
B	Nanosi vrlo zbijenoga pijeska, šljunka ili vrlo krute gline debljine najmanje nekoliko desetaka metara, sa svojstvom postupnoga povećanja mehaničkih svojstava s dubinom.	360-800	>50	>250
C	Debeli nanosi srednje zbijenoga pijeska, šljunka ili srednje krute gline debljine od nekoliko desetaka do više stotina metara.	180-360	15-50	70-250
D	Nanosi slabo do srednje koherentni (sa ili bez mekih koherentnih slojeva) ili s predominantno mekim do srednje krutim koherentnim tlima.	<180	<15	<70
E	Profili koji sadrže površinski sloj koji karakterizira brzina $v_s$ tzv. Tipove tla C i D i debljine od 5 m do 20 m, a ispod njih je kruti materijal s brzinom većom od $v_s$ 800 m/s	-	-	-
S1	Nanosi koji sadrže najmanje 10 m debeli sloj mekane gline s visoko plastičnim indeksom ( $IP > 40$ ) i visokim sadržajem vode	<100	-	10-20
S2	Nanosi likvefakcijski osjetljivog tla pijeska i gline ili bilo koji tip tla koji nije opisan od A do E i pod S1	-	-	-

Tablica 4.1. - Kategorizacija tla prema seizmičnosti

$v_{s,30}$  - srednja vrijednost brzine površinskih valova,  $N_{spt}$  - standardni penetracijski test,  $C_u$  - posmična čvrstoća tla



Tip tla	S	T <sub>p</sub> (s)	T <sub>c</sub> (s)	T <sub>D</sub> (s)
A	1,00	0,15	0,4	2,0
B	1,20	0,15	0,5	2,0
C	1,15	0,20	0,6	2,0
D	1,35	0,20	0,8	2,0
E	1,40	0,15	0,5	2,0

$$\text{- horizontalna komponenta sile: } = 0,5 \times \alpha \times S \times W = 0,5 \times 0,255 \times 1,2 \times 1,0 \cong 0,153 \quad (4.1)$$

$$\text{- vertikalna komponenta sile: } = 0,5F_H = 0,5 \times 0,15 \cong 0,08 \quad (4.2)$$

Iz gornjeg izraza možemo zaključiti koliki je doprinos horizontalnog ubrzanja tla na pojavu horizontalne sile koja djeluje na građevinu. Drugim riječima, sama vertikalna sila na zid se povećava za opterećenje na temelj i temeljno tlo dok „nova“ horizontalna sila predstavlja sasvim novo opterećenje na kompletni nosivi sustav zgrade koji još dodatno uzrokuje i momente u konstrukciji koji se najviše okarakteriziraju na samim temeljima i vertikalnim nosivim sustavima (ako oni postoje).

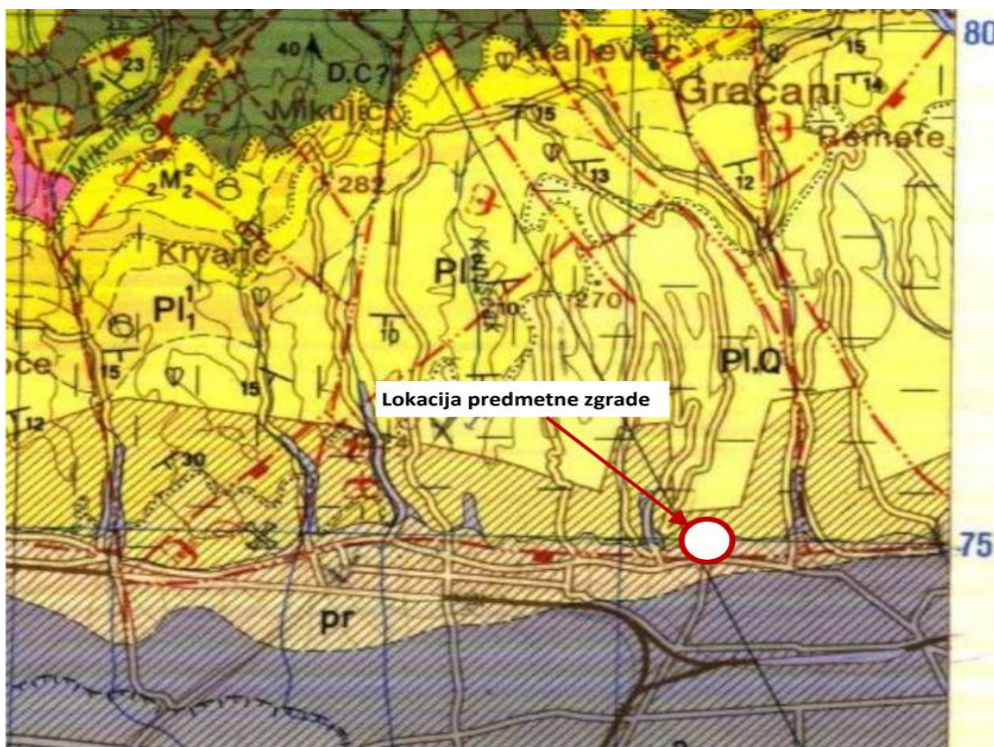
## 4.2. Geografski pregled

Pregledom Osnovne geološke karte promatranog područja *slika 4.2.*, vidljivo je da se predmetna zgrada nalazi na području kraja neogenskog perioda i početka pleistocena. Promatrano područje ima geološku građu koja se sastoji od šljunka, pijeska i gline (levant, proluvij).

Naslage levanta su slatkovodni fluvijalno-jezerski sedimenti, molasnog tipa, koji leže diskordantnona različitim članovima tercijara, mezozoika i paleozoika. To su bočni ekvivalenti gornjoplaudinskih naslaga. Gornja granica im nije definirana, te postoji mogućnost kontinuiranog prelaza u donjupleistocen. Izgrađene su od šljunka, pijeska i glina u međusobnoj izmjeni. Rjeđe se mogu naći ulošci pješčenjaka i konglomerata. U pojedinim partijama ovih naslaga izražena je jaka limonitizacija uvidu cm proslo jaka limonitnihkonkrecija, okorina i pješčenjaka vezanih limonitnim vezivom. Glinedolaze u obliku tanjih proslo jaka ili leća te su mjestimice i ugljevite. O sadržaju limonitne ili organske supstance ovisi šarena boja ovih sedimenta. Šljunci su pretežito nesortirani, sastoje se od valutica različitih stijena najčešćeg promjera do 5 cm.



Rjeđe su pojave valutica od 5-20cm. Valutice su mjestimice uložene u glinom onečišćene, nevezane, krupnozrne pijeske. Zapažen je pad zaobljenosti i povećanje promjera valutica u područjima, koja leže bliže današnjim planinskim predjelima. U tim se područjima smanjuje sortiranost, a povećava broj vrsta pretaloženih stijena (karbonati, pješčenjaci, rožnjaci, kvarc, metamorfne stijene, eruptivi i dr.). Na većoj udaljenosti od izdignutih predjelavalutice su manje i pretežno izgrađene od kvarca i subzaobljenih fragmenata rožnjaka. Mjestimice su u šljuncima zapažene pojave graduirane i unakrsne slojevitosti.



Slika 4.2. - Osnovna geološka karta promatranog područja (Basch, 1980)



Šljunci, pijesci, gline,



Proluvij: šljunci, pijesci, gline,



Rasjed bez oznake karaktera.

Q<sub>1</sub> - kopneni prapor,

PI,Q - srednji i gornji pliocen - donji pleistocen i slatkovodni sedimenti (klastiti), PI<sub>1</sub> - praktični sedimenti (klastiti).

### 4.3. Opis građevine

Svi zidovi zidani u vapnenom mortu sa punom opekom formata 1/1. Nosivi zidovi su većih dimenzija, jer ne postoje horizontalni i vertikalni serklaži da povežu konstrukciju. Zidovi su ožbukani, izravnani i obojeni, djelomično obučeni u keramičke pločice (kupaonica). Stropna konstrukcija izvedena je od drvenih greda položenih na vanjske i unutarnje nosive zidove. Preko greda postavljali su se fosni, te su tako tvorili stropnu konstrukciju. Od ispod su se na grede zabijale daske i trstika, te se je sve zajedno žbukalo sa vapnenim mortom. Kompletna konstrukcija krovišta izvedena je iz četinarara II klase, a za pokrov upotrijebljen je crijep. Fasada je izvedena na način žbukanja vanjske strane zidova sa vapnenim mortom. Mort je zaglađen i obojan sa fasadnom bojom.



*Slika 4.3. - Građevina za dijagnostiku i sanaciju*

#### 4.4. Oštećenja

Napravljen je detaljan pregleda zgrade, pregleda i ocjenjivanja konstruktivnih elemenata, procjene stanja nosivosti konstruktivnih elemenata, procjene i nastalih deformacija (pomaka, progiba, pukotina), te specifikacije oštećenja i zgrade prema stupnjevima oštećenja. Definicija promatrane razine štete vrlo je relevantna i temelji se na europskoj makroseizmičkoj skali (Europska makroseizmička skala) koja je osnova za procjenu seizmičkog intenziteta u europskim zemljama, a koristi se i u velikom broju zemalja izvan Europe. U tom smislu, osnovnu razdiobu ljestvice potresa možemo podijeliti u 12 osnovnih razreda.

Način na koji se zgrada deformira pri potresnom opterećenju ovisi o vrsti zgrade. Za opću kategorizaciju možemo zgrade grupirati u osnovne dvije skupine: zidane zgrade (konstrukcije), te armirano-betonske konstrukcije (zgrade). Ab konstrukcija (ab okvir) na sebe preuzima potresno djelovanje, odnosno potresnu otpornost (horizontalne sile). Nastala te detektirana oštećenja formirat ćemo u 5 razreda prema tablicama u nastavku.

Rizik	Strukturalni	Ne strukturalni	Vanjski	Geotehnički
Nizak	❖	❖	❖	❖
Nizak uz protumjere	❖	❖	❖	❖
Visok	❖	❖	❖	❖






Tablica 4.2. - Procjena rizika

A	Uporabljiva zgrada	❖
B	Neuporabljiva zgrada(u cijelosti ili djelomično) ali uporabljiva nakon kratkoročnih mjera	❖
C	Djelomično neuporabljiva zgrada	❖
D	Djelomično uporabljiva zgrada koja zahtjeva detaljnu inspekciju	❖
E	Neuporabljiva zgrada	❖
F	Neuporabljiva zgrada zbog vanjskog rizika	❖

Tablica 4.3. - Klasifikacija uporabljivosti

Tako da sam rizik zgrade možemo svrstati u nekoliko razreda(ovisno o stupnju i poziciji) dok samu zgradu paralelno ocjenjujemo prema stupnju uporabivosti prema *tablicama 4.2. i 4.3.*

## KLASIFIKACIJA OŠTEĆENJA ZIDANIH ZGRADA

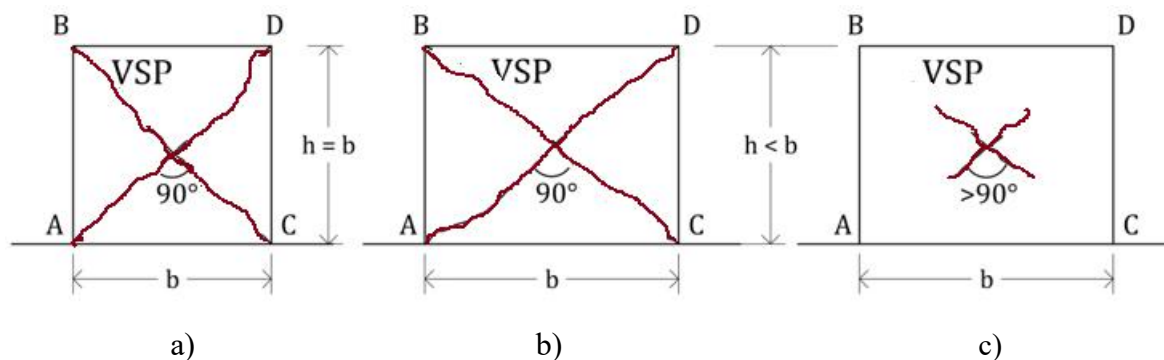
	<p><b>RAZRED 1.: Zanemarivo do lagano oštećenje (nema strukturnih oštećenja, lagana nestrukturna oštećenja)</b></p> <p>Vrlo tanke pukotine u pojedinim zidovima. Pad samo malih komada žbuke. Pad labavog kamenja s gornjih dijelova zgrada u vrlo malo slučajeva.</p>
	<p><b>RAZRED 2.: Umjerena oštećenja (lagana strukturna oštećenja, umjerena nestrukturna oštećenja)</b></p> <p>Pukotine u mnogim zidovima. Pad prilično velikih komada žbuke. Djelomično rušenje dimnjaka.</p>
	<p><b>RAZRED 3.: Znatna do velika oštećenja (umjerena strukturna oštećenja, velika nestrukturna oštećenja).</b></p> <p>Velike i ekstenzivne pukotine u većini zidova. Odvajanje crijepova na krovu. Pucanja dimnjaka na ravni krova. Lomovi pojedinih nestrukturnih elemenata (pregrade, zabatni zidovi).</p>
	<p><b>RAZRED 4.: Vrlo velika oštećenja (velika strukturna oštećenja, vrlo velika nestrukturna oštećenja).</b></p> <p>Ozbiljna oštećenja zidova. Djelomična strukturna oštećenja krovova i podova.</p>
	<p><b>RAZRED 5.: Rušenje (vrlo velika strukturna oštećenja)</b></p> <p>Totalno ili gotovo potpunu urušavanje.</p>

D1 lagano oštećenje - ovaj stupanj oštećenja ne utječe značajno na nosivost konstrukcije i ne ugrožava sigurnost stana razlog pada ne strukturnih elemenata ili predmeta. Oštećenja se smatraju laganim čak i kada se pad predmeta može hitro izbjeći.

D2-D3 srednje, teško oštećenje - ovaj stupanj oštećenja mogao bi značajno promijeniti nosivost konstrukcije bez približavanja granici djelomičnog urušavanja osnovnih strukturnih komponenti konstrukcije/zgrade.

D4-D5 vrlo velika oštećenja - ovaj stupanj oštećenja značajno mijenja i narušava nosivu sposobnost konstrukcije dovodeći je do granice djelomičnog ili potpunog urušavanja osnovnih strukturalnih komponenti. Ovu razinu karakteriziraju oštećenja veća od prethodnih, uključujući i potpuna urušavanja/urušavanje.

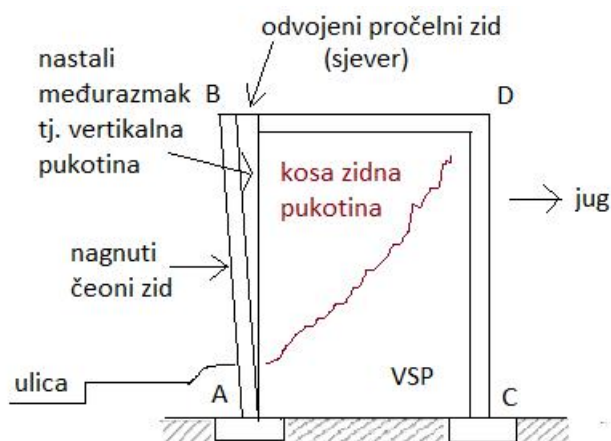
Uslijed potresnog udara na vertikalnim stijenama zgrada (zidovi, pregradni zidovi, pregradne stijene) nastaje određen tip indikativnih pukotina koje se šire u određenom smjeru, te su položene na specifičan način.



Slika 4.4. - Pojava ukriženih pukotina

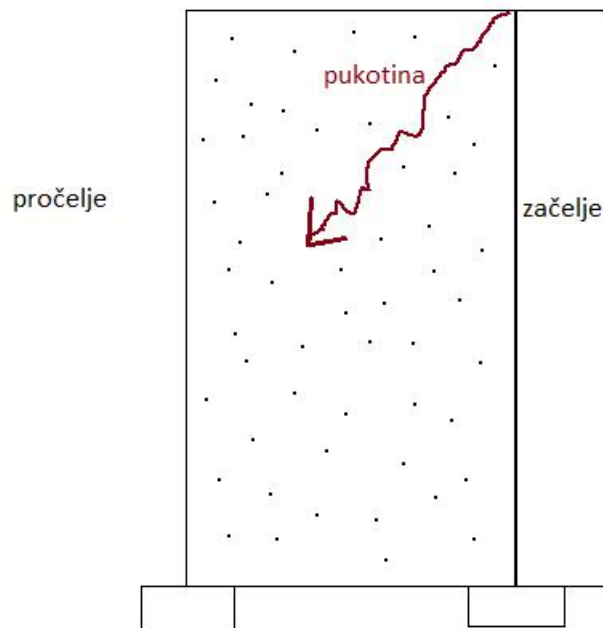
Kod ujednačenih oscilacijskih uvjeta, a kod zida kvadratičnog oblika, doći će do pojave dijagonalnokrižnih pukotina (a), dok će se kod horizontalno izduženih pravokutnika križne pukotine pojaviti u srednjem dijelu zida (b) ili će kut pukotinskog križanja odstupiti od  $90^\circ$  (c).

No, u slučajevima kada zid nema ujednačene pridržajne uvjete na bočnim vertikalama, kada je npr. manja otpornost na lijevoj vertikali (AB), tada će doći do tendencije većeg produljenja dijagonale na pravcu CB, a to će onda značiti da će takvo produljenje biti popraćeno jačom (ili čak jedinom) pukotinom u smjeru AD.



Slika 4.5. - Asimetrična otpornost

Ako se na nosivim zidovima (koji su barem približno položeni na pravac glavnog potresnog udara, tj. ako se nalaze na pravcu dominantnih potresnih oscilacija) mogu uočiti ukrižene, odnosno dijagonalne pukotine, bit će to znak da građevina pruža podjednaki otpor na tzv. lijevi i desni potresni pomak. No ako postoje samo pukotine jednoga usmjerenja (jednodijagonalne pukotine), tada će one nedvojbeno ukazati na to koja strana građevine (zgrade) ima manju, a koja veću otpornost.

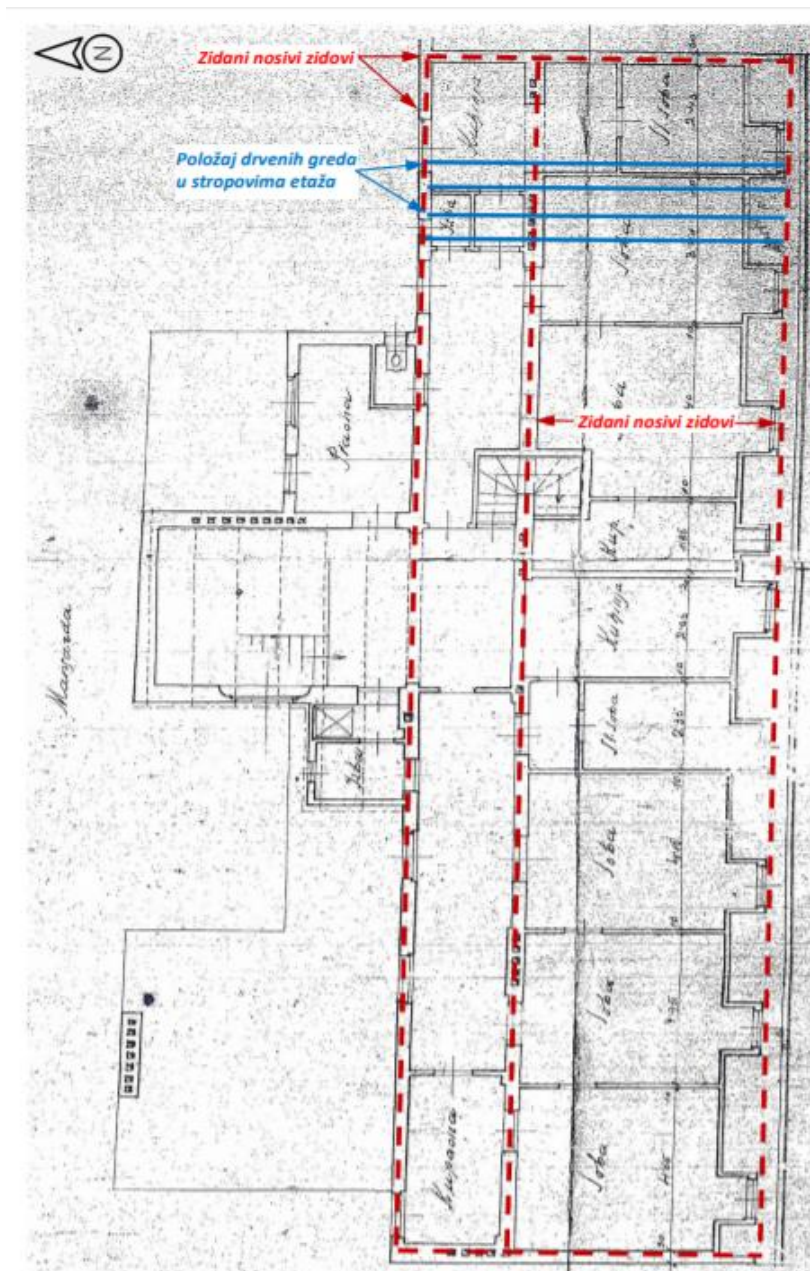


Slika 4.6. - Shematski prikaz širenja jednosmjerne pukotine



## 5. Dijagnosticiranje građevine

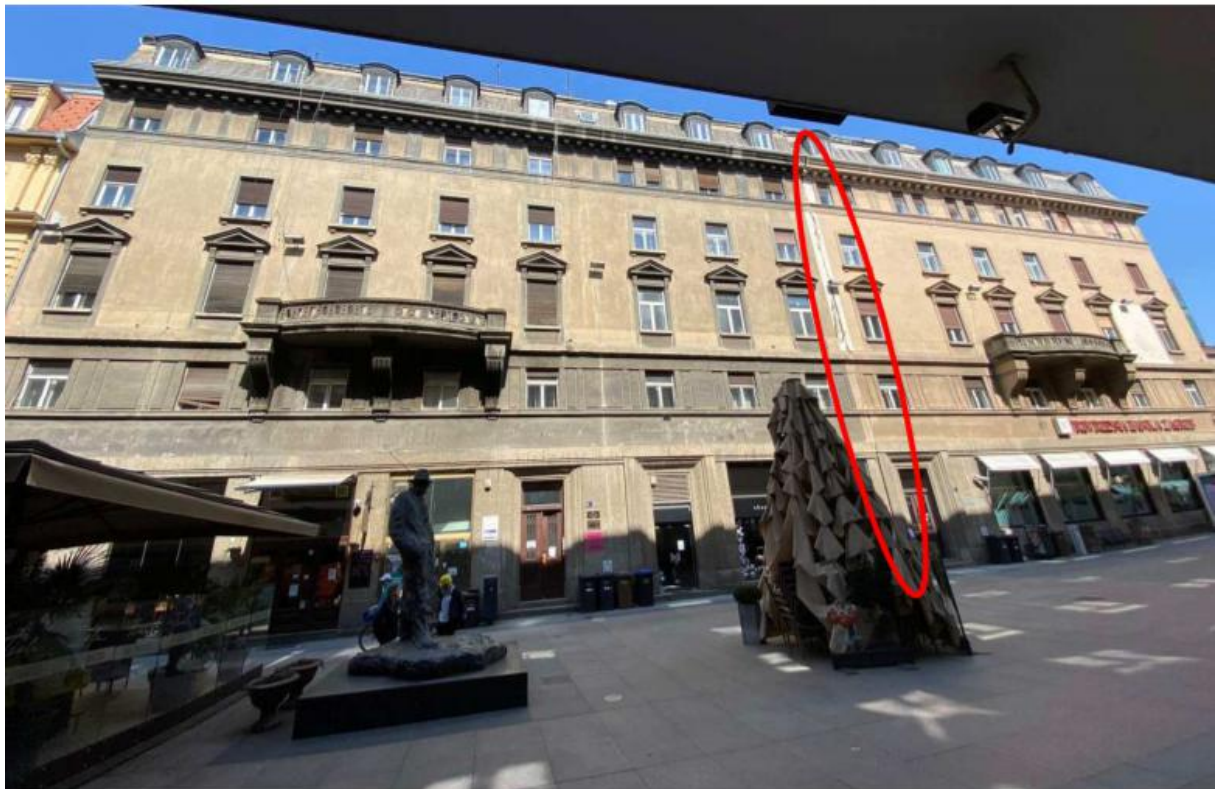
Za sam početak potrebno je naglasiti kako je kompletna vertikalna nosiva konstrukcija zgrade načinjena od zidova zidanih u vapnenom mortu sa punom opekom formata 1/1. Nosivi zidovi su većih dimenzija (u temeljima zgrade izmjereno do 80 cm), no razlog tome nalazi se u nedostatku horizontalnih i vertikalnih serklaža koje bi povezivale konstrukciju. Kako je detaljnim pregledom i razgovorom sa stanarima utvrđeno da zgrada u cijelosti ne sadrži armiranobetonsku konstrukciju, zgradu ćemo tretirati kao konstrukciju od zidanog nosećeg sustava te ćemo ocjenu i razradu oštećenja i uporabljivosti zgrade i pojedinih dijelova također specificirati po tom principu.



Slika 5.1. - Tlocrt etaže sa naznačenim nosivim dijelom

Kao što se na prethodnoj slici 5.1. može vidjeti, tj na tlocrtnoj dispoziciji zgrade nosivi sustav čine opekom zidani vertikalni zidovi dok su stropovi izrađeni od drvenih greda položenih na vanjske i unutarnje nosive zidove.

U tom smislu, glavni nosivi zidovi pružaju se u smjeru istok-zapad dok se stropne grede i većina pregradnih ne nosivih zidova pružaju u smjeru sjever-jug. Potresni val širio se otprilike u smjeru sjever-jug, što će se kasnije posebno odraziti na tipove i vrstu oštećenja na nosivom i ne nosivom sustavu zgrade.



*Slika 5.2. - Pogled na južno pročelje predmetne zgrade (naznačena je dilatacija sazgradom na kućnom broju 2 na kojoj se pojavila vertikalna pukotina uzduž svih etaža)*



## Prizemlje



Slika 5.3. - Prizemna prostorija koja dijeli (svoj istočni) zid sa glavnim zidom zgrade

Prostor je trenutno kompletno u postupku rekonstrukcije tako da je bilo moguće pogledat gole zidove. Zamijećeno je da na pojedinim dijelovima prostorije postoji okvirni armiranobetonski sustav vertikalnih i horizontalnih greda (naznačeno crveno). U ovom slučaju stupanj oštećenja je razreda D1, strukturalno niskog rizika, te je prostor kao takav uporabljiv.



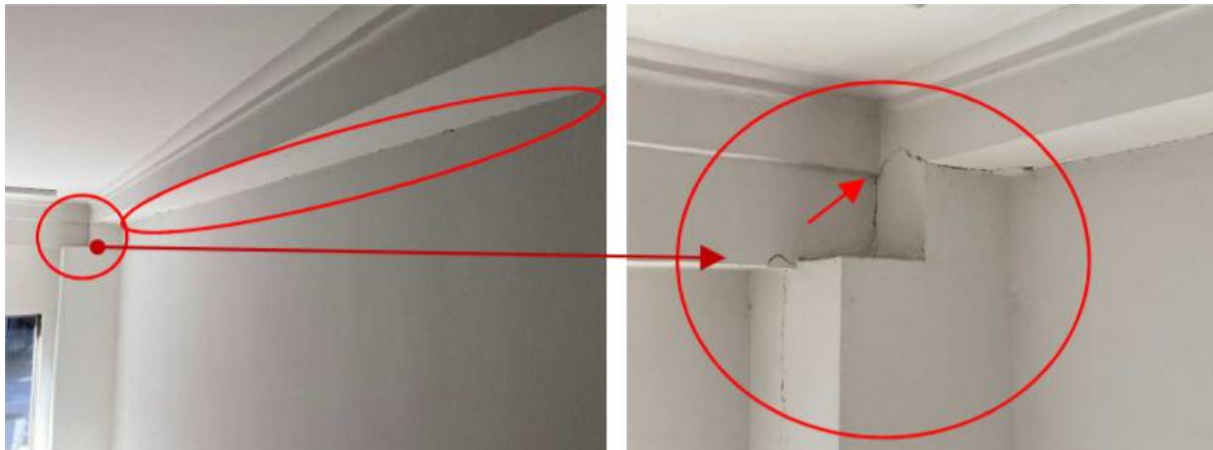
Slika 5.4. - Površinske pukotina po istočnom zidu

U prvom poslovnom prostoru koji se nalazi istočno od glavnog južnog ulaza (a samim time i od nosivog zida stubišta) počinju se primjećivati manji i veći tipovi pukotina kakvih u zapadnim dijelovima prizemlja nema. Najadekvatnija pukotina je vertikalna, proteže se duž cijele etaže te se nalazi na samom uglu vanjskog (južnog) nosivog zida (smjer istok-zapad) te pregradnog uzdužnog zida (smjer sjever-jug) koji je građen u smjeru u kojem se dogodio potres.

Ostale detektirane pukotine unutar predmetnog poslovnog prostora su površinskog karaktera, nalaze se na pregradnim zidovima, prvenstveno na krajnjem istočnom zidu poslovnog prostora (pružanje zida u smjeru sjever-jug). U ovom slučaju stupanj oštećenja je razreda D1 i D2, strukturalno niskog rizika, te je prostor kao takav uporabljiv.



*Slika 5.5. - Indikativna vertikalna pukotina na krajnjem istočnom zidu*



*Slika 5.6. - Pogled iz prostora usmjeren prema jugu*

Ulaskom u prosto odmah je primijećena *slika 5.5.* suspektibilna vertikalna pukotina na krajnjem istočnom zidu zgrade koja se proteže uzduž cijele etaže. Pukotina je jačeg karaktera, širine do 1 cm te se može svrstati u strukturalno oštećenja (zbog svoje pozicije i karaktera). Također primjećuju se horizontalne i vertikalne pukotine uzduž zapadnog zida prostora *slika 5.6.* od kojih se najviše ističe detalj spoja južnog nosivog zida sa zapadnim pregradnim zidom poslovnog prostora. Na tom spoju je razvidno strukturalno razdvajanje dva zida te oštećenje koje se samim time mora svrstati u strukturalno (zahvaća nosivi zid te spojeve zida u kojem sudjeluju nosivi elementi). Stupanj oštećenja ovog prostora svrstava se u D3 razred, koji može značajno promijeniti nosivost konstrukcije ali bez približavanja granici djelomičnog urušavanja osnovnih strukturalnih komponenti.

## II.kat



*Slika 5.7. - Vertikalne i horizontalne površinske pukotine*

Već ulaskom u stan na II. katu uočene su pukotine na zidovima koje se mogu okarakterizirati pukotinama srednjeg karaktera te su uobičajene prema svom položaju za ovakav tip potresa. Naime, svi pregradni zidovi orijentirani su u smjeru sjever-jug te su na svojim krajevima uglavljeni (spojeni) na vanjske te jedan unutarnji nosivi zid (koji je orijentiran u smjeru istok-zapad). Kako se potresni val od epicentra širio u smjeru sjever-jug, tako su se gicali i pregradni zidovi. U tom smislu, na pregradnim zidovima počinju se javljati oštećenja u vidu dijagonalnih pukotina.



Slika 5.8. - Dijagonalne pukotine na unutarnjim otvorima zidova

Na otvorima unutar stana detektirane su dijagonalne pukotine koje su karakteristika oslabljenja u zidovima (nosivim i pregradnim) jer je samim otvorom struktura zida oslabljena, te se u njenom najkritičnijem dijelu (kut oslabljenja) stvore pukotine koje se dalje dijagonalno šire prema horizontalnom nosivom sustavu (nadvojima, vijencima, serklažima).



Slika 5.9. - Pukotina na pregradnim zidovima unutrašnjosti stana

Na slici 5.9. vidljiva je duboka pukotina koja prolazi kroz cijeli pregradni zid stana a može je se detektirati s druge strane zida. Važno je da u ovom stanu nisu detektirane kritične (srednje do opasne) pukotine u nosivom sustavu stana (a time i zgrade) a to se može direktno vezati na to kako je zapadni dio zgrade pretrpio razvidno manja oštećenja od istočnog, posebice u nižim etažama zgrade. U tom smislu, razred oštećenja i rizika ovog stana možemo svrstati u grupu oštećenja D2-D3, te time zaključiti kako se ovim oštećenjima nije približilo granici djelomičnog ili potpunog urušavanja, ali je narušena standardna razina konstruktivne uporabljivosti sustava.



*Slika 5.10. - Ulaz u predmetni stan, pogled na pregradni zid koji se naslanja na unutarnji nosivi zid*



*Slika 5.11. - Horizontalne pukotine na pregradnom (lijevo) i na unutarnjem nosivom zidu (desno)*

Gornja desna slika prikazuje strukturalnu pukotinu na unutarnjem nosivom zidu (smjer istok - zapad) te susjednu vertikalnu pukotinu na njemu pripadajućem pregradnom zidu (smjer sjever -jug). Vertikalna pukotina rezultat je odvajanja pregradnog zida od nosivog uslijed potresnih gibanja u smjeru sjever-jug (što je paralelno sa uzdužnom tlocrtnom osi pregradnog zida). Lijeva slika prikazuje isti tip oštećenja ali na spoju pregradnog zida sa južnim nosivim uličnim zidom.





*Slika 5.12. - Sanitarni prostori na krajnjem istočnom zidu stana i zgrade*

Daljnijim pregledom sjevernih prostorija stana uz krajnji nosivi istočni zid zgrade vidljiva su jača strukturalna oštećenja na samom istočnom zidu te kompletna odvajanja poprečnog pregradnog zida sanitarnih prostorija stana. Razdvajanja se događaju u vertikalnom i horizontalnom smjeru što indicira na kompletan gubitak spoja nosive i pregradne konstrukcije.

Sveukupno gledajući ovu stambenu jedinicu, detektirana i naznačena oštećenja možemo okarakterizirati razredom oštećenja D3-D4, odnosno kao stupanj oštećenja koji na određenim mjestima značajno mijenja i narušava nosivu sposobnost konstrukcije dovodeći je do granice djelomičnog ili potpunog urušavanja. Ovo posljednje se poglavito odnosi na krajnje istočno područje predmetnog stana, odnosno na spoj glavnih uzdužnih nosivih zidova sa krajnjim istočnim nosivim dilatiranim zidom smjera sjever-jug.

## Stan na IV.katu lijevo, istočna strana



Slika 5.13. - Pogled na krajnji nosivi istočni zid zgrade

Ovaj stan pretrpio je vrlo velika do velika oštećenja a što se tiče u usporedbi s ostalim stanovima i prostorima zgrade, možemo reći najveća i maksimalna. Sam stan nalazi se na zadnjem katu (IV. kat) te uz sam istočni dilatacijski zid predmetne zgrade. Kako je već ranije spomenuto, vertikalna pukotina uzduž i poprijeko krajnjeg nosivog istočnog zida proteže se od samog prizemlja prema vrhu zgrade. Svoj najkritičniji karakter te maksimalnu širinu poprima upravo u ovom stanu.



Slika 5.14. - Razarajuće oštećenje sjeveroistočnog kuta stana i zgrade

Ovdje je razvidno kako je došlo do potpunog otklanjanja jednog zida od drugog, odnosno do uništenja spoja konstrukcije. Razvidno je kako se sjeverni nosivi zid u smjeru istok-zapad odvojio od istočnog zida (koji je u smjeru sjever-jug) te izgubio svoju cjelovitost i homogenost. U ovom slučaju više ne možemo govoriti o pukotinama i pukotinskom sustavu, već lomovi, uništenju strukture i gubitku nosivosti konstruktivnog strukturnog elementa (zidanog zida).



*Slika 5.15. - Pogled uzduž krajnjeg istočnog nosivog zida*



*Slika 5.16. - Pogled na jugoistočni kut stana ali i cijele zgrade*



Pregledom uzduž krajnjeg istočnog zida *slika 5.15.* vidljivo je njegovo duboko i snažno oštećenje, koje prodire u samu jezgru presjeka zida. Zid je definitivno snažno oštećen cijelom svojom poprečnom duljinom, od sjevernog kraja pa sve do uličnog, južnog kraja zgrade. Njegova struktura, integritet i cjelovitost su na ovoj etaži (mansarda) ozbiljno narušeni te je zid izgubio svoju prvotnu uporabljivost te nosivost. Na *slici 5.16. i 5.17.* vidljiva je jačina oštećenja na jugoistočnom kutu zgrade.



*Slika 5.17. - Pogled na jugoistočni kut stana ali i cijele zgrade*

*Slike 5.16. i 5.17.* detaljno prikazuju kompletna odvajanja nosivih zidova, gubitak bilo kakvog konstruktivnog spoja među njima te samim time lom okvirne vertikalne konstrukcije cijele zgrade. Vertikalna pukotina (ako je tako možemo nazvati) širine je i do 3-4cm.



*Slika 5.18. - Pregradni poprečni zid (istok-zapad)*

Kod pregradnih zidova je došlo do potpunog urušavanja dijelova zida te odvajanja od glavnih nosivih zidova. Križne dijagonalne pukotine pojavljuju se na pregradnim zidovima koji se pružaju u smjeru sjever-jug, odnosno u smjeru širenja potresnih valova. Pukotine su duboke, strukturalne, presijecaju zidove te oni gube svoj integritet.



*Slika 5.19. - Vertikalna pukotina uz dimnjak (lijevo) te horizontalna pukotina uz strop (desno)*

Kompletno svi pregradni zidovi su ispucali ili su uništeni, pukotine su duboke, prelaze na drugu stranu zida i uništavaju strukturu zida. Zidovi više nisu homogeni, uništena im je struktura i cjelovitost. Na slici 63 vertikalna pukotina indicira na odvajanja zida od nosivog unutarnjeg zida (smjer istok-zapad). Potrebno je dodatnu pažnju obratiti na položaj kamina, odnosno, primijetiti da se on uslijed potresa pomaknuo za cca 10 cm.

Nakon detaljnog dijagnosticiranja stana, te detaljnog opisa zamijećenih oštećenja, sažeto se može zaključiti da predmetni stan je pretrpio najveća, i to maksimalna oštećenja, većina oštećenja je strukturalna, oštećenja su u samom konstruktivnom dijelu stana. Sva oštećenja moraju se okarakterizirati kao D4-D5 (vrlo velika oštećenja), tj. kao stupanj oštećenja koji značajno mijenja i narušava nosivu sposobnost konstrukcije dovodeći je do granice djelomičnog ili potpunog urušavanja osnovnih strukturalnih komponenti.

## Stan na IV.katu desno, zapadna strana



Slika 5.20. - Krajnji zapadni nosivi zid stana i zgrade



Slika 5.21. - Ručno izvedena oštećenja na zidu i podnoj konstrukciji

Pukotine vidljive na *slici 5.20.* lijevo nalaze se na unutarnjem nosivom zidu etaže koji se pruža u smjeru zapad-istok, a njegov kutni spoj vidljiv na slici je sa vanjskim nosivim zapadnim zidom. Natom kutnom spoju nisu detektirana ozbiljna oštećenja ili široke pukotine. *Slika 5.20.* desno prikazuje spoj južnog uličnog nosivog zida sa zapadnim zidom zgrade. Na tom je spoju detektirana vertikalna pukotina srednje jačine koja se može dovesti u direktnu vezu sa pomakom južnog zida zabilježenog u stanu pored u kojem je jasno vidljiv odmak južnog zida prema zapadu (do 4 cm).



Kako smo imali prilike vidjeti i sa nižih etaža, ovaj zapadni dio zgrade pretrpio je puno manja oštećenja nego njegov nasuprotni, istočni dio. U smislu provjere unutrašnjosti konstrukcije, tijekom radova na rekonstrukciji etaže, radnici su očito željeli provjeriti stanje nosivih konstrukcija. U tom su smislu napravili nekoliko „ispitnih“ rupa čija je svrha uvid u unutrašnjost konstrukcije. Tako je *slikom 5.21.* razvidno da se u unutrašnjosti južnog nosivog zida nalaze armaturne šipke koje je očito netko naknadno postavio radi ojačanje konstrukcije nosivog zida. Treba imati na umu da je to pojačanje zasigurno načinjeno naknadno i (dosta) poslije vremena nastanka ove zgrade kao cjeline (1925. god.).

Zaključno, oštećenja ove etaže (stana) mogu se svrstati u razred oštećenja D2-D3, tj. srednje-teško oštećenje. To znači da se uporabljivost konstrukcije svakako izmijenila (i umanjila), no nije se približila granici urušavanja ili lomljenja. Kod sanacije stana posebnu pažnju trebalo bi usmjeriti na vanjske i unutarnje nosive zidove, odnosno njihove konstruktivne spojeve. Ostale radove, vrlo vjerojatno će izvođač rekonstrukcije u hodu planirano izvoditi.

#### Stan na III.katu lijevo, istočna strana



Slika 5.22. - Pukotinsko oštećenje te lom sjeveroistočnog kuta zgrade

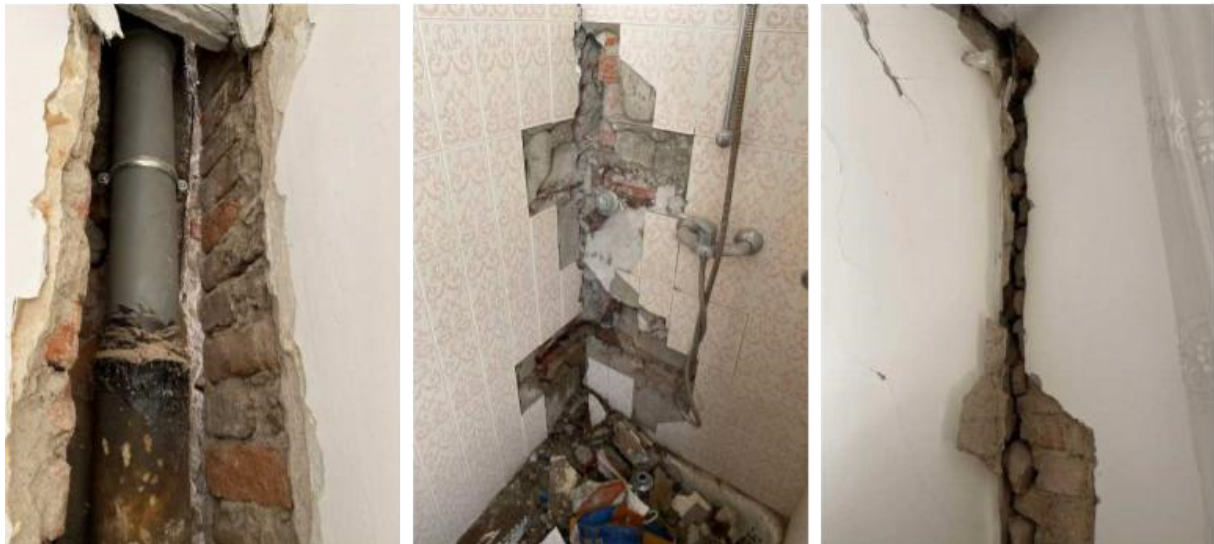
Razvidni je intenzitet oštećenja nosive konstrukcije stana (ali i zgrade kao cjeline). Naime, vertikalna pukotina čiji smo maksimalni intenzitet imali prilike vidjeti u stanu (kat iznad) dalje se nastavlja prema nižim etažama kroz ovaj stan. Istina, pukotina kao takva, započinje u nižim etažama a svoj maksimum dobiva na samom vrhu zgrade. Oštećenje kompletno odvaja sjeverni nosivi zid od istočnog (*slika 5.23. desno*), te time nosiva struktura, odnosno nosivi zidani okviri ovdje gubi svoj strukturalni integritet. Pukotina je veličine do 4-5 cm te se sjeverni zid u cijelosti odvojio. Ovaj slučaj kao i slučaj stana vodi k zaključku da je ovaj (sjeverni) dio zgrade pretrpio najveća strukturalna oštećenja ali da se glavni pomak (pomaci) dogodio ovdje, na sjeveroistočnom dijelu.



*Slika 5.23. - Dijagonalne pukotine na istočnom zidu, vertikalno pukotinsko oštećenje jugoistočnog kuta zgrade (desno)*

Pukotina je jednake veličine kao ona sa stana iznad, oštećenje je totalno, dok su nosivi zidovi kompletno razdvojeni. Spoj vanjskih nosivih zidova u ovom dijelu više ne postoji, a sama konstrukcija je time maksimalno ugrožena.

Na sljedećim slikama *slika 5.24.* prikazan je slijed najugroženijeg područja stana a time i same zgrade, tj. slijed vertikalnih pukotinskih odvajanja sjevernog i južnog nosivog zida zgrade od istočnog nosivog spojnog zida, te pukotinsko odvajanje pregradnog zida od istočnog nosivog zida. Potrebno je primijetiti veličinu otvora (3-4 cm), potpuni gubitak spoja okvirne zidane konstrukcije, te samim time i potpuni gubitak strukturalnog integriteta na tim mjestima.



(a) (b) (c)

*Slika 5.24. - Vertikalna pukotinska oštećenja nosivog zidnog sustava zgrade  
 (a) odvajanje sjevernog nosivog zida od istočnog spojnog zida sa Varšavskom 2  
 (b) odvajanje pregradnog unutarnjeg zida od istočnog spojnog zida sa Varšavskom 2  
 (c) odvajanje južnog nosivog zida od istočnog spojnog zida sa Varšavskom 2*



*Slika 5.25. - Potpuno raspucavanje i odvajanje žbuke sa pregradnih zidova etaže*

Površinska žbuka *slika 5.25.* se potpuno odvojila od zidnog sustava. Pregledom žbuke razvidna je njezina dotrajalost i starost (skoro 100 godina), a i debljina nije zanemariva.



*Slika 5.26. - Dijagonalna pukotina na pregradnom zidu*

Kompletno svi pregradni zidovi su ispucali ili su uništeni, pukotine su duboke, prelaze na drugu stranu zida i uništavaju strukturu zida. Zidovi više nisu homogeni, uništena im je struktura i cjelovitost.

Nakon dijagnosticiranja stana (III. kat) te detaljnog opisa zamijećenih oštećenja, sažeto se može zaključiti kako predmetni stan je pretrpio znatna oštećenja. Većina oštećenja je strukturalna, oštećenja su u samom konstruktivnom dijelu stana. Sva oštećenja moraju se okarakterizirati kao D4-D5 (vrlo velika oštećenja), tj. kao stupanj oštećenja koji značajno mijenja i narušava nosivu sposobnost konstrukcije dovodeći je do granice djelomičnog ili potpunog urušavanja osnovnih strukturalnih komponenti.

Stan nije uporabljiv ni siguran, potrebne su hitne i dugoročne mjere sanacije. Mjere sanacije moraju ulaziti u samu nosivu strukturu te trebaju povezati stan sa ostalim nosivim dijelovima zgrade. Mjere se moraju vršiti po redoslijedu prvenstva, odnosno, bit će potrebno odrediti sanacijske prioritete (u koje svakako prvo mora ući nosiva konstrukcija).

### Stan na III.katu desno, zapadna strana

Odmah na ulazu u stan vidljiv je niz horizontalnih pukotina na pregradnim zidovima stubišta i njihovom spoju sa glavnim unutarnjim nosivim zidom istok-zapad.

U ovom stanu pretežito prevladavaju stropne pukotine te dijagonalne pukotine na pregradnim zidovima. *Slika 5.28.* zorno prikazuje jačinu potresa kod izbacivanja okvira vrata iz zida.



*Slika 5.27. - Horizontalne pukotine uzduž stubišnog zida*



*Slika 5.28. - Odvajanje okvira vrata zbog potresnog udara*





*Slika 5.29. - Oštećenja primijećena na zidnim otvorima na sjevernom nosivom zidu*

Na sjevernom nosivom zidu stana primijećene su strukturalne pukotine, prvenstveno oko ili blizu otvora u zidovima (prozorima).

Horizontalne pukotine na mjestima gdje bi se trebali nalaziti vratni nadvoji pojavljuju se na pregradnim zidovima koji su bili okomiti na smjer pružanja potresa (smjer sjever-jug). Stropne pukotine rezultat su pomicanja pregradnih zidova te njihovo „udaranje“ u unutarnji nosivi zid te zidove paralelne s njime (smjer zidova istok-zapad), odnosno zidova čiji je duža os paralelna sa smjerom pružanja potresa (sjever-jug).



*Slika 5.30. - Razvoj stropnih i zidnih pukotina*



Slika 5.31. - Dijagonalna pukotina te njezino propagiranje do vertikalne pukotine na vanjskom nosivom zidu

Dijagonalna pukotina *slika 5.31.* nastavlja se iz horizontalne stropne pukotine koja je konstantna duž ovog zida. Na polovici zida počinje njeno dijagonalno spuštanje prema kutu, odnosno spoju vanjskog nosivog zida sa tim zidom. Vertikalna pukotina u visini cijele etaže znak je konstruktivnog odvajanja ova dva zida i trenutnog ne postojanja kontakta između njih. Problem je time veći, što je ovo vanjski nosivi zid zgrade.

Kompletno svi pregradni zidovi su ispucali ili su uništeni, pukotine su duboke, prelaze na drugu stranu zida i uništavaju strukturu zida. Zidovi više nisu homogeni, uništena im je struktura i cjelovitost. Ugroženi su i uništeni spojevi pregradnih zidova sa nosivim zidovima (vanjskim i unutarnjim).

Sažeto se može zaključiti da svaki predmetni stan je pretrpio znatna oštećenja. Većina oštećenja je strukturalna, oštećenja su u samom konstruktivnom dijelu stana. Sva oštećenja moraju se okarakterizirati kao D3-D4, stupanj koji značajno mijenja nosivost konstrukcije, na nekim mjestima bez približavanja granici djelomičnog urušavanja osnovnih strukturnih komponenti konstrukcije/zgrade dok na nekim (vertikalna odvajanja zidova, stropovi) i do granice djelomičnog urušavanja.

**Stan na I.katu lijevo, istočna strana**



*Slika 5.32. - Horizontalne pukotine koje se šire iz spoja pregradnih zidova sa nosivim*

Pukotine su srednje veličine, i premda je zidna obloga raspucala na svojim spojevima, za pretpostaviti je da je jednak tip pukotine i u samoj strukturi zida ispod obloge.



*Slika 5.33. - Vertikalne pukotine zidnih gipskartonskih obloga*



*Slika 5.34. - Vertikalna strukturalna pukotina koja se proteže kroz sve etaže (desno)*

Pogled na sjevernu dvorišnu stranu otkriva nam vertikalnu strukturalnu pukotinu koja se prože kroz sve etaže zgrade. Pukotina je nastala na mjestu postojeće dilatacije sa novogradnjom koja je dograđena do predmetne zgrade. Prema riječima stanara, spoj zgrada nikad nije izveden do kraja, odnosno, oduvijek postoji određen razmak.

No, razvidno je da je taj razmak ovim potresom i proširen, iako nije doveden na kritičnu razinu. Generalno gledajući, zidne gipskartonske obloge u ovom stanu su se odvojile od zidova, prvenstveno na spojevima nosivih zidova sa pregradnima. Za očekivati je da se u strukturi zidova nalaze dijagonalne pukotine (pregradni zidovi okomiti na nosive zidove), te horizontalne po zidu te uz strop (pregradni zidovi paralelni sa nosivim zidovima).

Sva oštećenja moraju se okarakterizirati kao D2-D3, stupanj koji utječe na nosivost konstrukcije, ali pri tome bez približavanja granici djelomičnog urušavanja osnovnih strukturalnih komponenti konstrukcije/zgrade.

### Stan na I.katu desno, zapadna strana

Stan koji se nalazi na zapadnom dijelu prvog katu u svojoj suštini nije pretrpio znatnija strukturalna oštećenja. Oštećenja stana su većinom površinske naravi, karakteristične prirode za ovakav tip havarije, te se prvenstveno nalaze na pregradnim zidovima stana.



Slika 5.35. - Karakteristična dijagonalna pukotina iz vrata prema stropu (desno)



Slika 5.36. - Vertikalna pukotina na spojevima zidova

Ovakav tip pukotina karakterističan je i čest na konstrukcijama zidova i u područjima bez potresnog oštećenja.





*Slika 5.37.- Pukotina na balkonskom parapetu (lijevo); pukotinska oštećenja pregradnog zida (desno)*

*Slika 5.37.* (desno) prikazuje pregradni ulazni zid u stan (sa druge strane je susjedni istočni stan). Razvijen pukotinski sustav na ovom zidu je strukturalni, prodire duboko te narušava strukturu pregradnog zida. Na njegovom spoju sa nosivim unutarnjim zidom došlo je do razdvajanja koje se manifestiralo vertikalnom pukotinom uzduž spojeva zida.



*Slika 5.38. - Dijagonalne pukotina iznad zatvorenog otvora u pregradnom zidu*

Jasno je vidljiva pukotina s obje strane pregradnog zida koja je nastala iznad naknadno zatvorenog prolaza (vrata) u tom zidu. Pukotina se formirala tijekom potresa kako samo formirajući lučni sustav (otprilike) koji je prenio opterećenja s vrha na krajeve (u ovom slučaju kutove otvora). Pošto opeka od koje je zid strukturiran može jedino prenijeti tlačna naprezanja, ovakav tip formiranja pukotina je logičan i karakterističan.

Naime, na taj način se stvaraju linije naprezanja preko kojih zid prenosi opterećenja koja djeluju na njega. Jedino, što u ovom slučaju zid i njegova struktura nemaju dostatnu krutost i elastičnost kako bi se oduprijela naglom porastu horizontalnih opterećenja.

Zaključno gledajući stan, on je pretrpio znatno manja strukturalna oštećenja od susjednih stanova na gornjim katovima (pogotovo onim iz istočnog krila zgrade), no svakako ne zanemariva. Indikativna su navedena odvajanja pregradnih zidova od nosivih te srednje do jače pukotine i pukotinski sustav na pregradnim zidovima. Sva oštećenja moraju se okarakterizirati kao D2-D3, stupanj koji utječe na nosivost konstrukcije, ali pri tome bez približavanja granici djelomičnog urušavanja osnovnih strukturalnih komponenti konstrukcije/zgrade. Stan je potrebno sanirati, uglavnom površinskim metodama, no preporuča se i zadiranje u strukturu (poglavito pregradnih zidova-ojačanja). Mjere sanacije moraju ulaziti u samu nosivu strukturu te trebaju povezati stan sa ostalim nosivim dijelovima zgrade.

### **Poslovni prostor na polukatu, istočna strana**

Pretrpio je znatna oštećenja ovim potresom. Svi pregradni zidovi su duboko strukturalno oštećeni, te su nazočna znatna odvajanja pregradnih zidova od njima okomitih, nosivih vanjskih i unutarnjeg.



*Slika 5.39. - Pukotinski sustav na pregradnom zidu smjera sjever-jug*

Uzrok ovih pukotina su pomicanja zidova tijekom potresnog udara u smjeru potresa (sjever-jug), a što se podudara sa uzdužnom osi zida.





*Slika 5.40. - Potpuna odvajanja zidova i stropova*

Najkritičniji dio u ovoj etaži pronalazimo na krajnjem istočnom zidu stana, kao što je to i ranije (u gornjim etažama) bio slučaj. To je još jedna potvrda oslabljenog istočnog krila zgrade te maksimalnih oštećenja koje je taj dio zgrade pretrpio (i još uvijek trpi). Iako se predmetni poslovni prostor nalazi na relativno niskom katu (polukat, ispod njega nalazi se samo prizemlje), detektirana oštećenja su relativno visokog intenziteta, te ona upućuju na konstantnost oštećenja istočnog kraja zgrade, njegovog pripadajućeg nosivog spojnog zida, i to od prizemlja pa do krovne etaže. U ovom slučaju govorimo o dubokom strukturalnom oštećenju, gubitku integriteta konstrukcije, gubitku uporabljivosti te znatnoj opasnosti za nosivost ovog dijela zgrade (krajnji istočni dio).



*Slika 5.41. - Pukotine većeg karaktera*

Ono što na kraju pregleda ovog poslovnog prostora možemo zaključiti može se rezimirati kao: Predmetni poslovni prostor pretrpio je znatna strukturalna i površinska oštećenja. Većina oštećenja je strukturalna, oštećenja su u samom konstruktivnom dijelu stana. Sva oštećenja moraju se okarakterizirati kao D4 (vrlo velika oštećenja), tj. kao stupanj oštećenja koji značajno mijenja i narušava nosivu sposobnost konstrukcije dovodeći je do granice djelomičnog ili potpunog urušavanja osnovnih strukturalnih komponenti. Poslovni prostor nije uporabljiv ni siguran, potrebne su hitne i dugoročne mjere sanacije. Mjere sanacije moraju ulaziti u samu nosivu strukturu te trebaju povezati stan sa ostalim nosivim dijelovima zgrade.

### **Poslovni prostor u visokom prizemlju, istočna strana**



*Slika 5.42. - Horizontalna pukotina na krajnjem istočnom zidu*

Ovaj relativno malen prostor (46 m<sup>2</sup>) nalazi se u visokom prizemlju zgrade te ga karakterizira mala visina. Oštećenja ovog prostora su većinom površinske naravi (na pregradnom zidu), no ipak se primjećuje jedna suspektibilna horizontalna pukotina na krajnjem istočnom zidu prostora. Pošto se prostor nalazi u svojevrsnoj poluetaži, ta pukotina je vjerojatno povezana sa susjednim prostorom i stropom susjednog prostora (koji je dio prizemlja). Oštećenja ovog prostora mogu se okarakterizirati razredom oštećenja D3 (oštećenja bez približavanja granici djelomičnog urušavanja osnovnih strukturalnih komponenti konstrukcije/zgrade).

## Krovište, dimnjaci

Već smo se ranije mogli djelomično uvjeriti da je pod krovišta (tavana) u dobrom stanju tome leži i u činjenici da su se drveni grednici koji su osnovni nosivi sustav poda krovišta, gibali u smjeru potresa (sjever-jug) jer je njihova duža os također u tom smjeru. Da je bilo kojim slučajem drugačije, tj. da su grednici okomiti na smjer širenja potresa, ta da bi postojala realna opasnost od bočnog savijanja te deformiranja grednika. Tako da u ovom našem slučaju ne postoje znatna vidljiva oštećenja na podu tavanskog prostora *slika 5.43*.



*Slika 5.43. - Položaj drvenih grednika poda je u smjeru sjever-jug, isto kao i položaj krovnih elemenata – rogova*

Ista stvar se može reći za konstrukciju samog krovišta. Osim što je masivna i dobro očuvanog poprečnog presjeka *slika 5.46*, također su njezini osnovni elementi (rogovi) usmjereni u smjeru sjever-jug, kako se i gibala zgrada u potresu.



*Slika 5.46. - Pogled prema zapadu na sustav krovišta*



*Slika 5.47. - Urušeni dimnjaci na krovu zgrade*



*Slika 5.48. - Pogled prema istočnom dijelu krovišta*

Pregledom vanjskog dijela krovišta detektirano je rušenje svih dimnjaka na istočnom dijelu krovišta, dok su dva dimnjaka na zapadnom dijelu i dalje ostala stajati.

Na istočnom od preostala dva dimnjaka jasno su vidljive horizontalne strukturalne pukotine koje ukazuju na gubitak uporabljivosti opisanog dimnjaka. Taj dimnjak svakako predstavlja svakodnevnu statičku opasnost te ga je potrebno hitno ukloniti. Krajnji zapadni dimnjak je ostao u najboljem stanju od svih dimnjaka na krovu. Razlog tome leži u njegovoj geometriji i orijentaciji. Premda on dijeli istu građevinsku strukturu kao i preostali dimnjaci, on je jedini položen svojom duljom stranicom u smjeru sjever-jug. Na taj je način pružio veći otpor dinamičkom opterećenju uzrokovanom potresnim gibanjem te se nije urušio. Bez obzira nato, također se savjetuje hitno uklanjanje i ovog dimnjaka jer i on sa svojom strukturom i tehnikom izgradnje predstavlja neposrednu opasnost, posebice u slučaju novog potresa ili nekog drugog tipa horizontalnog opterećenja.





*Slika 5.49. - Pogled iz tavanskog prostora na urušene dimnjake*

Zaključno se može reći da oštećenja dimnjaka na krovu su karaktera D4-D5. Naime, objekti (dimnjaci) su se samostalno srušili tijekom potresa. Potrebno je hitno uklanjanje preostalih dimnjaka. Na njihovim mjestima izvesti dimnovodne kanale te izvesti dimnjake van krovišta koristeći suvremene metode i materijale (pritom poštujući normative i pravilnike na snazi). Konstrukcija krovu je u dobrom stanju, nije pretrpjela znatnija oštećenja.

### **Stubište**

Prostor stubišta omeđen je s tri strane vlastitim nosivim zidovima, te sa južne strane nosivim zidom zgrade kojeg se cijelo vrijeme referiralo kao „sjeverni nosivi zid“.



*Slika 5.50. - IV. kat stubišta*

Jasno se vide strukturalne pukotine na sustavu zida između, te dvije prostorije te na nosivoj gredi između dvoja vrata. Ta greda predstavlja nastavak sjevernog nosivog sustava zgrade te je znatno strukturalno oštećena *slika 5.50.* desno.



*Slika 5.51. - Pukotine po vanjskim zidovima stubišta*

Pukotine uz stubište na vanjskim zidovima pokazuju dijagonalno širenje od vertikalnog spoja zidana početku stubišta prema najslabijem konstruktivnom dijelu zapadnog zida stubišta – centralnoj osi kružnog prozora. Takav tip pukotina ukazuje prema slabijem dijelu konstrukcije i mogućem slijeganju. U ovom slučaju se takav tip i širenje pukotine nameće i kao logičan slijed svega do sad navedenog. Sljedeći smjer potresa te imajući na umu da je nosivi sustav stubišta praktički odvojen od kontinuiranog nosivog sustava zgrade (istok-zapad), jasno je da će se pukotine širiti od spoja stubišta sa osnovnom konstrukcijom prema manjem i slabijem dijelu (krajnji sjeverni zid stubišta).



*Slika 5.52. - Pogled na polupodest stubišta (lijevo) te ulazno stubište sa glavnog ulaza*

Za prostor stubišta možemo reći da je pretrpjelo znatna oštećenja na IV. katu zgrade. Oštećenja su strukturalne naravi i nalaze se u nosivom grednom sustavu iznad posljednjeg podesta zgrade (ulazi u stanove IV. kata), te se mogu okarakterizirati razinom oštećenja D4 (ovaj stupanj oštećenja značajno mijenja i narušava nosivu sposobnost konstrukcije dovodeći je do granice djelomičnog ili potpunog urušavanja osnovnih strukturalnih komponenti). Samo stubište (stubišni krakovi) nigdje nisu strukturalno ugroženi, nisu zamijećene znatne pukotine ili oštećenja. U tom smislu, najopasnija bi bila oštećenja na polovici ili blizu polovice duljine stubišnog kraka. Takva oštećenja nisu zamijećena. Dizalo je urednog stanja, radi i uporabljivo, nema smetnji u prometovanju dizalom (strukturalnih). Nosiva konstrukcija dizala je pričvršćena za konstrukciju zgrade, te nema odloma, gubitka spojeva ili gubitka integriteta spoja.

### **Podrum (temelji)**

Temelji i temeljni sustav statički i konstruktivno gledano, jedni su od najvažnijih dijelova svake zgrade, a na njih se često pri dijagnosticiranju građevine zaboravi ili u najmanju ruku, zanemari. Temelji sa svojim temeljnim sustavom (zgrada-temelj-temeljno tlo) imaju zadaću prijenosa svih vertikalnih i horizontalnih sila na i u tlo. Time je njihova funkcija i uloga od iznimne važnosti. Dobro i kvalitetno temeljenje zgrade od krucijalne je važnosti kod nastanka i tipova oštećenja na cijeloj zgradi. Tako bi i sanacija (strukturalna, konstruktivna) temelja od potresnog djelovanja također trebala imati vrlo važnu ulogu.

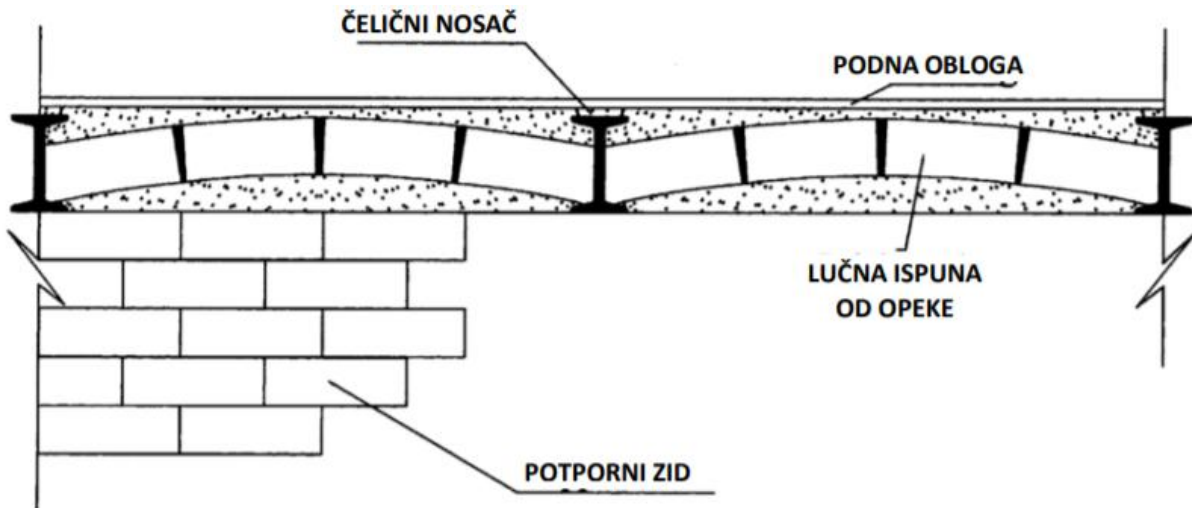


*Slika 5.53. - Stropna temeljna ploča podruma*

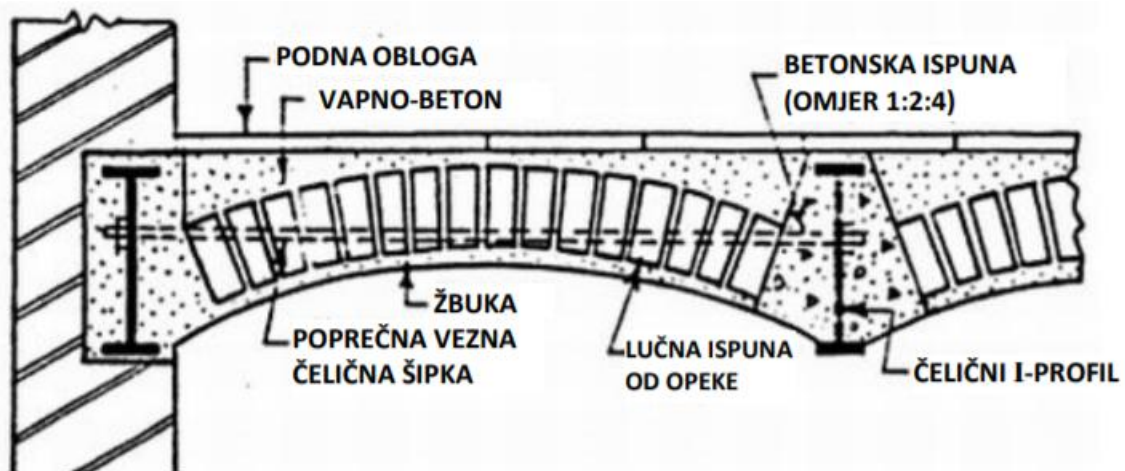
Pregledom podrumskih prostorija zgrade primijećeno je da je cijela zgrada po svojoj kompletnoj površini podrumljena, te na isti način temeljenja. To je u ovom slučaju od iznimne važnosti jer takav način temeljenja već u startu smanjuje rizike od diferencijalnih slijeganja zgrade.



Stropna ploča je u ovom slučaju vrlo vjerojatno kompozitna lučna ploča (kombinacija čeličnih nosača i betona – *slika 5.54.*), tj. vrsta konstrukcije kakvima se pretežito gradilo u Europi početkom XX. stoljeća.



*Slika 5.54. - Shema mogućeg nosivog stropnog sustava podrumске ploče*



*Slika 5.55. - Shema dijelova mogućeg nosivog stropnog sustava podrumске ploče*

U prilog takve premise idu i detektirani čelični I-profil i sustav vidljivih poprečnih greda detektiranih na pravilnom razmaku *slika 5.53. i 5.56.*



Slika 5.56. - Vidljivi I-profili u stropnom sustavu podruma na pravilnom razmaku između lučnih betonskih svodova

Pregledom svih prostorija podrumskog prostora utvrđeno je da je on u dobrom i zadovoljavajućem stanju te da nije pretrpio značajna slijeganja ili oštećenja. No, imajući u vidu znatna oštećenja istočnog krila zgrade, te suspektibilnu pukotinu na krajnjem istočnom veznom nosivom zidu, postoji mogućnost određenih (oku nevidljivih) slijeganja toga dijela temelja. Tome svakako ide u prilog i razvoj dijagonalnih pukotina na pregradnim (ali i nosivim) zidovima koji su orijentacije sjever-jug.

### Fasada

Vanjski dijelovi zgrade (ovojnica) pretrpjeli su znatnija oštećenja samo u području vertikalnih pukotina na krajnjem istočnom i zapadnom nosivom zidu. Prvenstveno, gledajući krajnji istočni spojni zid razvidno je kako je pukotina duboka i strukturalna, odnosno da je došlo do potpunog odvajanja poprečnih nosivih zidova u smjeru istok-zapad *slika 5.57*.



Slika 5.57. - Vertikalna pukotina na istočnom nosivom zidu



*Slika 5.58. - Pogled na vertikalnu istočnu pukotinu*

Naime, s te strane postaje razvidno da se sjeverni zid, osim što se odmaknuo u smjeru istok-zapad, zapravo odmaknuo i prema sjeveru *slika 5.57*.

Iako je vidno široka, kad je okomito gledamo ne primjećujemo odmak nosivog sjevernog zida (ali i južnog) prema sjeveru. Ovo detektirano oštećenje istočnog zida te SI i JI kutnih spojeva predstavlja najkritičnije strukturalno oštećenje na predmetnoj zgradi.

Pogled također otkriva oštećenja na fasadnim estetskim elementima *slika 5.58*.

Oštećene elemente potrebno je hitno ukloniti jer predstavljaju neposrednu opasnost za stanare ali prvenstveno za pješake. Navedena oštećenja moraju se okarakterizirati kao oštećenja razreda D4 i D5, odnosno kao stupanj oštećenja koji značajno mijenja i narušava nosivu sposobnost konstrukcije dovodeći je do granice djelomičnog ili potpunog urušavanja osnovnih strukturalnih komponenti. Ovu razinu karakteriziraju oštećenja veća od prethodnih, uključujući i potpuna urušavanja određenih strukturalnih komponenti i/ili dijelova zgrade.



*Slika 5.59. - Pogled na oštećeni estetski fasadni element kojeg je hitno potrebno ukloniti radi sveopće sigurnosti ljudi*

Zaključno se vanjska ovojnica može rezimirati: Istočni dio zgrade u području zabatnog nosivog zida pretrpio je maksimalna oštećenja, navedena oštećenja su strukturalna, došlo je do doslovnog odvajanja nosivih komponenti zida, te sva oštećenja moraju se okarakterizirati kao D4-D5 (vrlo velika oštećenja), tj. kao stupanj oštećenja koji značajno mijenja i narušava nosivu sposobnost konstrukcije dovodeći je do granice djelomičnog ili potpunog urušavanja osnovnih strukturalnih komponenti.

Dovodi se u pitanje uporabljivost cijelog istočnog krila zgrade, same mjere sanacije moraju ulaziti u samu nosivu strukturu te trebaju povezati vertikalni i horizontalni nosivi sustav cijele zgrade. Mjere se moraju vršiti po redoslijedu prvenstva, odnosno, bit će potrebno odrediti sanacijske prioritete (u koje svakako prvo mora ući nosiva konstrukcija). Novu nosivu konstrukciju koja će se integrirati u postojeću potrebno je projektirati po današnjim standardima i pravilima struke, aktualnim pravilnicima i normama.



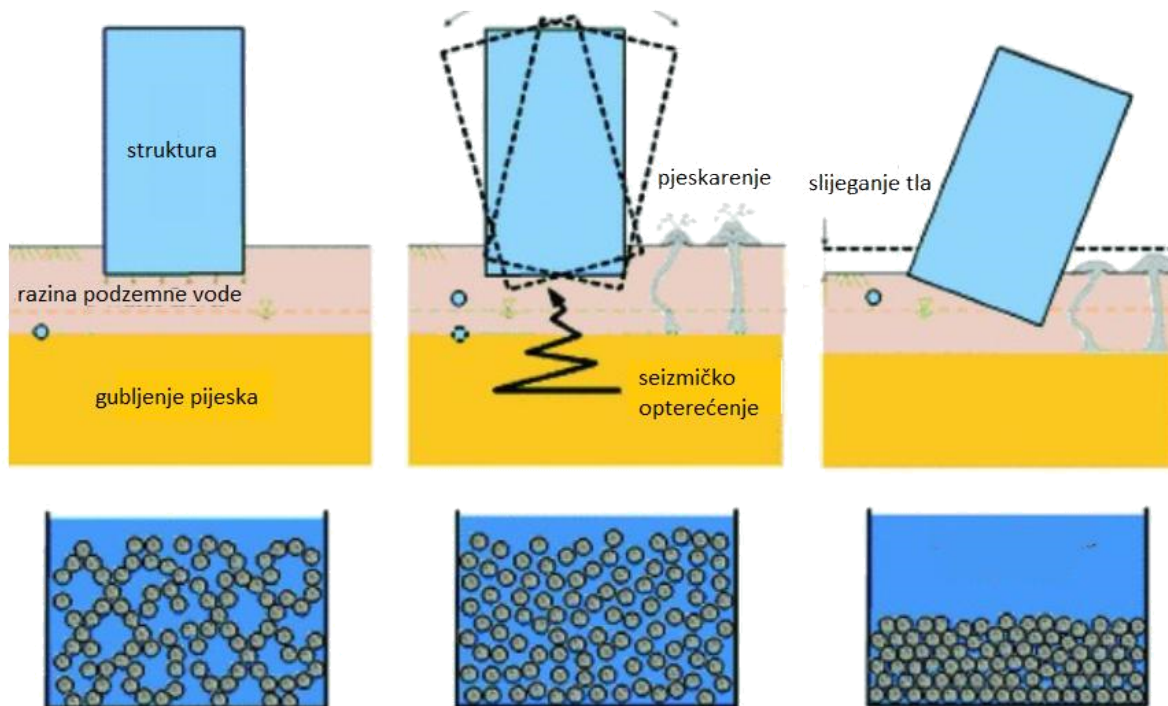
## **6. Prijedlozi i načini sanacije**

Sva oštećenja ove građevine različitih su karaktera, te se nalaze na različitim mjestima. Najjednostavnije rečeno one se protežu kroz cijeli konstruktivni istočni dio zgrade. Također, oštećenja u tom dijelu pokrivaju sve elemente nosivih konstrukcija, prvenstveno istočni zabatni nosivi zid te njegov spoj sa tri poprečna nosiva zida usmjerena istok-zapad. Spoj je u krajnjem istočnom dijelu u potpunosti nestao, te na tim mjestima je nosivi okvir zgrade potpuno izgubio svoj integritet.

Tako da od iznimne važnosti zgradi treba dati novi nosivi sustav, odnosno, današnje metode integrirati u postojeći sustav zgrade. Tu se prvenstveno misli na armiranobetonski okvir, čelični okvir ili kompozitni. U bilo kojem slučaju, sanacijski okvir trebao bi pokriti istočni dio zgrade, počevši od zabatnog spojnog istočnog zida pa horizontalno po etažama prema zapadu. U tome se ne bi smjelo zapostaviti ni jednu etažu, odnosno, svaku etažu horizontalno povezati sa vertikalnim (novim) nosivim sustavom.

### **6.1. Sanacija temelja**

Temeljima, kao nosivom sustavu cjelokupnog objekta potrebno je pridodati posebnu pažnju. Njihova sanacija je od iznimne važnosti za cijelu konstrukciju zbog nekoliko razloga: moguća oštećenja u istočnim temeljima morala su biti uzrokovana pukotinskim odvajanjem i pomakom cijelog istočnog nosivog dijela zgrade, za očekivati je da slijeganja temelja nisu stala kad je stao i potres, suprotno tome, ona sekontinuirano događaju i propagiraju (sekundarna slijeganja) a čemu je dokaz i konstantno širenje konstruktivnih pukotina po svim dijelovima objekta, dodatnu opasnost predstavlja i pojam likvefakcije, odnosno pojave promjene mehaničkih karakteristika tla uslijed natapanja, pri čemu ono gubi svoju posmičnu čvrstoću. Glavni faktori koji utječu na pojavu likvefakcije jesu stupanj zbijenosti tla, veličina čestica te stupanj zasićenosti vodom.



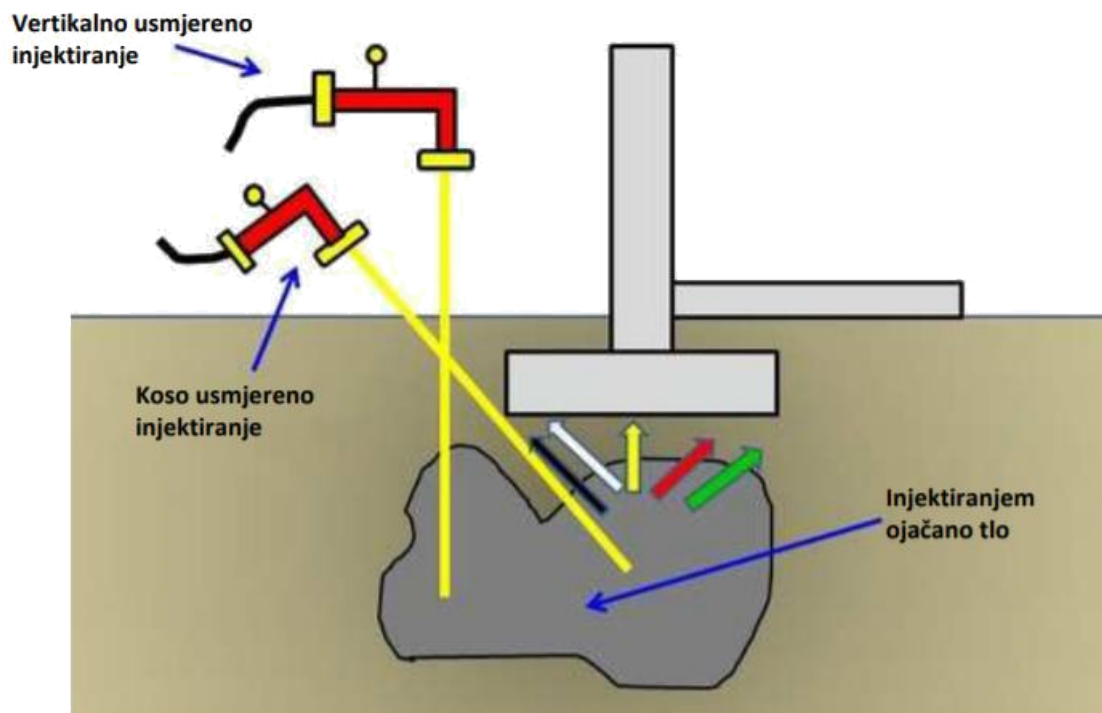
Slika 6.1. - Diferencijalno slijeganja konstrukcije uslijed likvefakcije temeljnog tla

U vidu svega toga može se predložiti nekoliko metoda sanacije:

- naknadno ojačanje temeljnog tla primjenom kemijskog injektiranja,
- postavljanje mikropilota uzduž temelja i temeljnih traka,
- injektiranje samog temelja na lokacijama oštećenja i puknuća,
- spajanje temelja mehaničkim metodama (bušenje, spajanje čeličnim šipkama itd.) – najmanje preporučljiva metoda u ovom slučaju.

Najbolje i najučinkovitije od svih ponuđenih metoda sanacija u ovom slučaju je da uzmemo prvu sanaciju. Ta metoda pokazala se uspješnom pri ovakvim zahvatima u tom će se slučaju postići solidifikacija tla, tlačno prednaprezanje, te sprezanje tla s temeljima, a može se očekivati i blago (neškodljivo) ispravljanje narušene geometrije temelja, a time i pripadnog dijela objekta. Neki primjeri primjene kemijskog injektiranja tla u tom istom cilju preuzeti su s interneta i prikazani na sljedećim slikama.



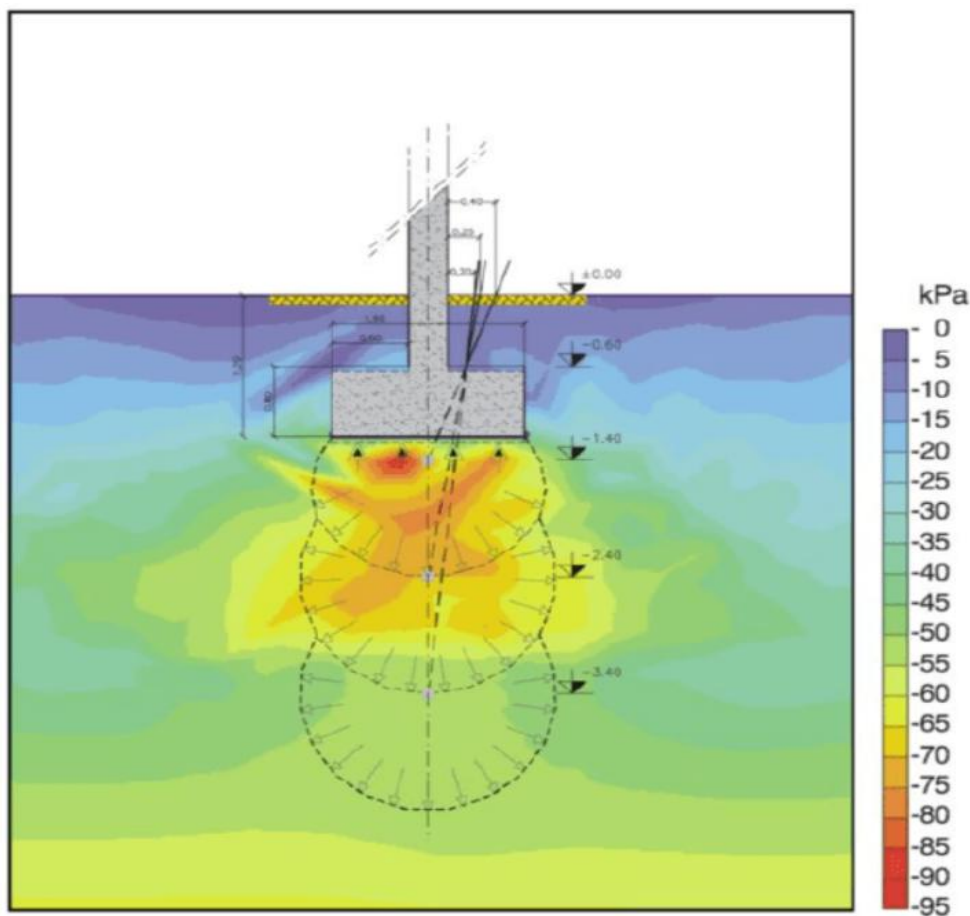


Slika 6.2. - Ojačanje temeljnog tla uz primjenu kemijskog injektiranja



Slika 6.3. - Ojačanje temeljnog tla uz primjenu kemijskog injektiranja s površine

Uobičajeni postupak injektiranja provodi se u tri razine – od najviše, neposredno ispod temelja, pa sve do dubine od oko tri metra ispod temelja (manje ako se naiđe na tvrdu podlogu). Po potrebi može se izvesti i na više razina u većim dubinama (do 15 metara). Postupak je brz, jednostavan i prilično efikasan u usporedbi s drugim metodama sanacije. Prilikom izvedbe nije potrebno kopanje jer se smjesa u tlo injektira kroz prethodno izbušene rupe, odnosno cijevi. Promjer cijevi varira između 6 i 26 milimetara, dok njihova duljina može biti od nekoliko centimetara pri stabilizaciji podova i pločnika do nekoliko metara za zahvate na većim dubinama ispod temelja zgrada i drugih većih objekata. Bušenje se provodi kroz samu temeljnu konstrukciju ili pored nje pritom obuhvaćajući područje tla predviđeno za potrebe ojačanja. Razmak između rupa prilagođava se vrsti temeljnog tla. Injektiranje započinje dok je smola još u tekućem stanju nakon čega u nekoliko minuta ista stvrdnjava te povećava svoj volumen i do 15 puta. Smjesa je lagana i u tlu ne stvara dodatna opterećenja, a njena ekspanzija je rezultat vrlo stabilne kemijske reakcije koju je moguće točno kontrolirati. Krajnji rezultat primjene ove metode sanacije je stabilizirano i trajno konsolidirano temeljno tlo.



Slika 6.4. - Ojačavanja temeljnog tla injektiranjem, grafički prikaz

## **6.2. Sanacija nosivih konstruktivnih dijelova zgrade**

Većina oštećenja okarakterizirana su kao oštećenja stupnja D4 i D5 što ulazi u stupanj oštećenja koji značajno mijenja i narušava nosivu sposobnost konstrukcije dovodeći je do granice djelomičnog ili potpunog urušavanja osnovnih strukturalnih komponenti.

Gledajući *tablicu 4.2. i tablicu 4.3.* povezanosti rizika i uporabljivosti konstrukcije (oštećenih dijelova) možemo zaključiti da je u tom smislu stupanj rizika visok a navedeni konstruktivni dijelovi zgrade ne zadovoljavaju svoj stupanj uporabljivosti, odnosno nisu sigurni i uporabljivi.

Svrha sanacije jest u tome da sve konstruktivne komponente zgrade (temelji, stupovi, grede, zidovi, stropovi, krovne grede i rogovi povežu jedna s drugom u jednu integralnu cjelinu kako bi se u slučaju novog potresa zgrada ponašala kao jedna integralna cjelina.

Pojačanje konstrukcije zgrade u sebi mora sadržavati:

### **Čvrstoću**

Čvrstoćom nosivih elemenata se konstrukcija odupire dinamičkoj sili uzrokovanoj potresnim udarom te zgrada djeluje kao jedna integralna jedinica.

### **Krutost**

Krutost predstavlja otpor konstrukcije deformaciji te se može primijeniti samo na strukturne jedinice konstrukcije.

### **Duktilnost**

Duktilnost je svojstvo materijala da podnese plastičnu deformaciju bez loma, a mjera duktilnosti izražava se omjerom između deformacija kod sloma i deformacija pri popuštanju.

### **Otpornost na požar**

Sanirani i nosivi elementi moraju imati traženu vatrootpornost po današnjim standardima i pravilnicima. Požarna opasnost često prati potrese zbog velikih pomaka u instalacijama, mogućnosti pojave kratkih spojeva, prevrtanja zapaljivih kućanskih elemenata itd.

Dugoročne mjere sanacije:

- rušenje oštećenih zidova veličine D4 i D5 te zamjena i gradnja novih,
- uklanjanje oštećenih dijelova zidova, jače povezivanje s temeljima, ugradnja nove armature i kompletna obnova,
- uklanjanje oštećenih dimnjaka te zamjena novim,
- izgradnja i ugradnja novog nosivog sustava zgrade,
- izrada novih vertikalnih serklaža u kutovima objekta,
- povezivanje i uklapanje novoizgrađenog vertikalnog nosivog sustava u horizontalni sustav zgrade (ab vijenci, ab nadvoji, ab horizontalni serklaži),
- dubinsko injektiranje nosivog zidnog sustava,
- izrada novih nadvoja i horizontalnih serklaža,
- postavljanje čeličnih kabli za prednaprezanje nosivih elemenata zgrade,
- povezivanje i zatezanje etaža preko vanjskih i unutarnjih nosivih zidova,
- ankeriranje zidova za vertikalne nosive strukture,
- ankeriranje i povezivanje drvenog krovišta (rogovi i grede te nazidnice),
- krpanje pukotina i mjesta opadanja žbuke,
- ugradnja armaturnih mrežica u zidove (na obje strane zida), njihovo međusobno povezivanje te prekrivanje završnim slojevima,
- obnavljanje oštećenih zidova pojačanim armaturnim mrežicama te ugradnja kvalitetnog vežećeg sredstva koje ima smanjenu razinu stezanja,
- specijalni radovi: kabela ili zatezna prednaprezanja unutar (ili izvan) nosivog vertikalnog i horizontalnog sustava zgrade.

### **6.3. Sanacija nenosivih dijelova zgrade**

Iako nisu nosivi dijelovi strukture zgrade, pregradni zidovi, zidne obloge, prozori, vrata i sl. uvelike pridonose homogenosti i cjelokupnosti cijelog konstruktivnog sustava. Oni su, kao što je prikazano kroz poglavlja dijagnosticiranja uvelike oštećeni te možemo reći da nema ni jednog ne nosivog elementa koji nije pretrpio određeni tip oštećenja, prvenstveno na istočnom krilu zgrade.

Dugoročne mjere sanacije:

- rušenje oštećenih zidova veličine D4 i D5 te zamjena i gradnja novih,
- rušenje odvojenih pregradnih zidova te obnova sa pojačanjima u strukturi te povezivanja s nosivim sustavom (nosivim zidovima, serklažima itd.),
- zamjena svih zidnih gipskartonskih obloga novima pojačanima (duple ploče),
- zamjena keramičkih pločica na ulazima, kupaonicama i kuhinjama,
- zamjena oštećenih prozora i vrata novima,
- gletanje i prikrivanje površinskih pukotina slabijeg i neopasnog intenziteta,
- kompletan popravak i navlačenje novog fasadnog sustava na dijelove koje dozvole konzervatori i u dogovoru s njima,
- zamjena pokrova na oštećenim dijelovima krovišta,
- uređenje okoliša dvorišta.

## 7. Zaključak

Obzirom na intenzitet potresa i seizmičku otpornost građevina potres može izazvati različite stupnjeve oštećenja. Ona se kreću od minimalne štete koja ne ugrožava uporabljivost građevina do šteta poput urušavanja nosivih elemenata ili čitavih građevina čime one postaju neuporabljive. Između ove dvije krajnosti postoji niz kategorija koje ocjenjuju stupanj uporabljivosti građevina, a ocjenu daju građevinski stručnjaci što predstavlja bazu za kasniju sanaciju građevina.

Naša predmetna zgrada je stambeno-poslovna sa sastavnim dijelovima stanovima, koji su podijeljeni na etaže i zajedničkim dijelovima zgrade koju čine stepenište, podrum i krovšte. Stambena zgrada izgrađena je u razdoblju od 1923.-1925. godine. te je slobodnostojeća, sastoji se od podruma, prizemlja, polukata i 3 kata. Cijela zgrada je u ovom radu rekognoscirana, te snimljena su sva oštećenja uz komentar i pronalaženja uzroka oštećenja. I napravljen je kompletni pregled zgrade prema pravilima tehničke dijagnoze i građevinske patologije s detaljnom obradom i opisom oštećenja. Pregledom oštećenja izveden je zaključak o ugroženosti građevine prema današnjoj korištenoj regulativi uz prijedlog hitnih mjera sanacije i osnovnih radova koje je potrebno izvesti kako bi se objekt doveo u uporabljivo stanje.

Radove sanacije treba izvoditi određenim redom i po redoslijedu prioriteta s time da je neophodno primarno sanirati noseći sustav cijele zgrade, posebno uključujući temeljni sustav i temeljno tlo. Pri tome je jasno da će radovi na nosivoj strukturi zgrade preuzeti prioritet. Da bi sanacijski radovi na nosivom sklopu zgrade imali smisla, oni se trebaju izvesti u cjelini, tj. cijela zgrada i njezini dijelovi (pogotovo istočno krilo) morali bi u tome sudjelovati. Postavljanje novog vertikalnog nosivog sustava (armiranobetonski vertikalni serklaži, čelični profili, čelični kabeli i sl). Moraju se povezati sa horizontalnim serklažima koji će prolaziti kroz vijenac svake etaže te na taj način tvoriti homogenu nosivu okvirnu strukturu. Radovi na ne nosivom i pregradnom sustavu odrađuju se nakon primarnih radova te ne bi trebali predstavljati složene radove (zamjena svih zidnih gipskartonskih obloga novima pojačanima, zamjena keramičkih pločica, zamjena oštećenih prozora i vrata, gletanje i prikrivanje površinskih pukotina slabijeg i neopasnog intenziteta, itd.,).

Lana Horvat

U Varaždinu \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_



## 8. Literatura

### Knjige:

- [1.] Oluić, M. (2015): POTRESI - uzroci nastanka i posljedice, s posebnim osvrtom na Hrvatsku i susjedna područja, Prosvjeta, Zagreb.
- [2.] Dujmović, D. (2020): Dinamika konstrukcija i protupotresno graditeljstvo, Sveučilište Sjever, Varaždin (skripta kao dio nastavne literature).
- [3.] Čaušević, M. (2010): Dinamika konstrukcija - Potresno inženjerstvo - Aerodinamika - Konstrukcijske euronorme, Golden marketing - Tehnička knjiga, Zagreb.

### Doktorski, magistarski i diplomski radovi:

- [1.] Ostroški, T. (2019): Potresi i utjecaj na okoliš. Završni rad. Varaždin: Sveučilište u Zagrebu Geotehnički fakultet Varaždin.

### Članci:

- [1.] Ivić, M. (2015): Paneuropska seizmička aktivnost. List studenata. Zagreb: Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

### E - knjige:

- [1.] Krleža, M. (2016): Hrvatska enciklopedija, Leksikografski zavod.
- [2.] Tomljenović, B. (2016): Morfološke & kinematske značajke i klasifikacija, Sveučilište u Zagrebu, rudarsko geološko naftni fakultet.
- [3.] Mihalić, S. (2019): Seizmički hazard, Sveučilište u Zagrebu.
- [4.] Hrasnica, M. (2002): Spektri odgovora za seizmičku procjenu zgrada, Građevinar.
- [5.] Boštjančič, J.; Sheppard, P.; Terčelj, S.; Turnšek, V.: Use of a modeling approach in the analysis of the effects of repairs to earthquake-damaged stone-masonry buildings, Bolletino di Geofisica Teorica ed Applicata, Part 2, 19 (1976) 72, Udine, 1976.
- [6.] Kuk K., Šariri K., Kuk V., Prelogović E., Sović I. (2020) : Seizmiološke i seizmološke značajke šireg Zagrebačkog područja, Građevinar 52.
- [7.] Gusić, D., Landeka, J., Lukić, A., Prša, M., Vidić, I., (2016): Seizmička aktivnost na području Republike Hrvatske, Ekscentar, br. 19, pp. 84-90.
- [8.] Muhovec I. (2020): STUDIJA indikativnog pružanja pukotina na vertikalnim stijenama (VSP) koje su položene paralelno pravcu potresnog udara (u povodu potresa u Zagrebu, 22. ožujka 2020.)

## Popis slika

- Slika 2.1. - Karta globalnih epicentara potresa od 1977. do 1986
- Slika 2.2. - Tektonske ploče
- Slika 2.3. - Prikaz potresa u zemljinoj kori
- Slika 2.4. - Vrste, načini širenja valova
- Slika 3.1. - Rasjedanje reljefa
- Slika 3.2. - Inicijacija tsunamija
- Slika 3.3. - Djelovanje seizmičkih valova u različitim tipovima geomedija
- Slika 3.4. - Dijelovi klizišta
- Slika 3.5. - Slijeganje objekta
- Slika 3.6. - Rasjed stijene
- Slika 3.7. - Akcelerogram
- Slika 3.8. - Seizmograf
- Slika 4.1. - Karta podrhtavanja tla za vrijeme najveće magnitude
- Slika 4.2. - Osnovna geološka karta promatranog područja
- Slika 4.3. - Građevina za dijagnostiku i sanaciju
- Slika 4.4. - Pojava ukriženih pukotina
- Slika 4.5. - Asimetrična otpornost
- Slika 4.6. - Shematski prikaz širenja jednosmjerne pukotine
- Slika 5.1. - Tlocrt etaže sa naznačenim nosivim dijelom
- Slika 5.2. - Pogled na južno pročelje predmetne zgrade (naznačena je dilatacija sa zgradom na kućnom broju 2 na kojoj se pojavila vertikalna pukotina uzduž svih etaža)
- Slika 5.3. - Prizemna prostorija koja dijeli (svoj istočni) zid sa glavnim zidom zgrade
- Slika 5.4. - Površinske pukotina po istočnom zidu
- Slika 5.5. - Indikativna vertikalna pukotina na krajnjem istočnom zidu
- Slika 5.6. - Pogled iz prostora usmjeren prema jugu
- Slika 5.7. - Vertikalne i horizontalne površinske pukotine
- Slika 5.8. - Dijagonalne pukotine na unutarnjim otvorima zidova
- Slika 5.9. - Pukotina na pregradnim zidovima unutrašnjosti stana
- Slika 5.10. - Ulaz u predmetni stan, pogled na pregradni zid koji se naslanja na unutarnji nosivi zid
- Slika 5.11. - Horizontalne pukotine na pregradnom (lijevo) i na unutarnjem nosivom zidu
- Slika 5.12. - Sanitarni prostori na krajnjem istočnom zidu stana i zgrade

Slika 5.13. - Pogled na krajnji nosivi istočni zid zgrade

Slika 5.14. - Razarajuće oštećenje sjeveroistočnog kuta stana i zgrade

Slika 5.15. - Pogled uzduž krajnjeg istočnog nosivog zida

Slika 5.16. - Pogled na jugoistočni kut stana ali i cijele zgrade

Slika 5.17. - Pogled na jugoistočni kut stana ali i cijele zgrade

Slika 5.18. - Pregradni poprečni zid (istok-zapad)

Slika 5.19. - Vertikalna pukotina uz dimnjak (lijevo) te horizontalna pukotina uz strop (desno)

Slika 5.20. - Krajnji zapadni nosivi zid stana i zgrade

Slika 5.21. - Ručno izvedena oštećenja na zidu i podnoj konstrukciji

Slika 5.22. - Pukotinsko oštećenje te lom sjeveroistočnog kuta zgrade

Slika 5.23. - Dijagonalne pukotine na istočnom zidu, vertikalno pukotinsko oštećenje jugoistočnog kuta zgrade (desno)

Slika 5.24. - Vertikalna pukotinska oštećenja nosivog zidnog sustava zgrade

Slika 5.25. - Potpuno raspucavanje i odvajanje žbuke sa pregradnih zidova etaže

Slika 5.26. - Dijagonalna pukotina na pregradnom zidu

Slika 5.27. - Horizontalne pukotine uzduž stubišnog zida

Slika 5.28. - Odvajanje okvira vrata zbog potresnog udara

Slika 5.29. - Oštećenja primijećena na zidnim otvorima na sjevernom nosivom zidu

Slika 5.30. - Razvoj stropnih i zidnih pukotina

Slika 5.31. - Dijagonalna pukotina te njezino propagiranje do vertikalne pukotine na vanjskom nosivom

Slika 5.32. - Horizontalne pukotine koje se šire iz spoja pregradnih zidova sa nosivim

Slika 5.33. - Vertikalne pukotine zidnih gipskartonskih obloga

Slika 5.34. - Vertikalna strukturalna pukotina koja se proteže kroz sve etaže (desno)

Slika 5.35. - Karakteristična dijagonalna pukotina iz vrata prema stropu (desno)

Slika 5.36. - Vertikalna pukotina na spojevima zidova

Slika 5.37. - Pukotina na balkonskom parapetu ; pukotinska oštećenja pregradnog zida

Slika 5.38. - Dijagonalne pukotina iznad zatvorenog otvora u pregradnom zidu

Slika 6.1. - Diferencijalno slijeganja konstrukcije uslijed likvefakcije temeljnog tla

Slika 6.2. - Ojačanje temeljnog tla uz primjenu kemijskog injektiranja

Slika 6.3. - Ojačanje temeljnog tla uz primjenu kemijskog injektiranja s površine

Slika 6.4. - Ojačavanja temeljnog tlu injektiranjem, grafički prikaz

## **Popis tablica**

Tablica 2.1. - Mercalli - Cancani - Siebergova (MCS) ljestvica intenziteta potresa

Tablica 2.2. - Aproximativni odnos intenziteta MCS ljestvice i Richterove magnitude

Tablica 4.1. - Kategorizacija tla prema seizmičnosti

Tablica 4.2. - Procjena rizika

Tablica 4.3. - Klasifikacija uporabljivosti

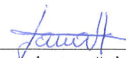


**IZJAVA O AUTORSTVU  
I  
SUGLASNOST ZA JAVNU OBJAVU**

Završni/diplomski rad isključivo je autorsko djelo studenta koji je isti izradio te student odgovara za istinitost, izvornost i ispravnost teksta rada. U radu se ne smiju koristiti dijelovi tuđih radova (knjiga, članaka, doktorskih disertacija, magistarskih radova, izvora s interneta, i drugih izvora) bez navođenja izvora i autora navedenih radova. Svi dijelovi tuđih radova moraju biti pravilno navedeni i citirani. Dijelovi tuđih radova koji nisu pravilno citirani, smatraju se plagijatom, odnosno nezakonitim prisvajanjem tuđeg znanstvenog ili stručnoga rada. Sukladno navedenom studenti su dužni potpisati izjavu o autorstvu rada.

Ja, Lana Horvat pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autorica diplomskog rada pod naslovom tehnička dijagnoza stambene zgrade pogođene potresom te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način korišteni dijelovi tuđih radova.

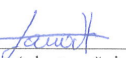
Studentica:  
Lana Horvat

  
\_\_\_\_\_  
(vlastoručni potpis)

Sukladno Zakonu o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju završne/diplomske radove sveučilišta su dužna trajno objaviti na javnoj internetskoj bazi sveučilišne knjižnice u sastavu sveučilišta te kopirati u javnu internetsku bazu završnih/diplomskih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice. Završni radovi istovrsnih umjetničkih studija koji se realiziraju kroz umjetnička ostvarenja objavljuju se na odgovarajući način.

Ja, Lana Horvat neopozivo izjavljujem da sam suglasana s javnom objavom diplomskog rada pod naslovom tehnička dijagnoza stambene zgrade pogođene potresom čiji sam autorica.

Studentica:  
Lana Horvat

  
\_\_\_\_\_  
(vlastoručni potpis)